



УДК 53.072.127, 371.693

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ МИНИ-ИССЛЕДОВАНИЙ В КУРСАХ МЕХАНИКИ

А.С. Чирцов^{a,b}, Д.Ю. Никольский^c, В.А. Брильянтов^a, И.В. Ванькович^a^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация^b Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация^c Университет Аляски, Файрбанк, Файрбанк, 99775, США

Автор для переписки: alex_chirtsov@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 24.01.17, принята к печати 15.02.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-201-214

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Чирцов А.С., Никольский Д.Ю., Брильянтов В.А., Ванькович И.В. Использование физического объектно-ориентированного моделирования для развития индивидуализированного обучения и организации мини-исследований в курсах механики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 201–214. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-201-214

Аннотация

Предмет исследования. Рассмотрен относительно простой метод создания интерактивных электронных моделей физических систем, не требующий программирования и автоматической генерации численных моделей сложных физических систем. Создаваемые учебные модели доступны для использования через Интернет и допускают практически неограниченное on-line редактирование пользователями. Обсуждены варианты использования создаваемых электронных моделей для сопровождения массового индивидуализированного обучения и организации самостоятельных учебно-научных исследований учащихся. **Метод.** В основу разработки положен оригинальный метод физического объектно-ориентированного моделирования, являющийся приложением традиционных идей объектно-ориентированного программирования к задачам построения и настройки численных моделей относительно сложных физических систем. В его рамках компьютерная модель физической системы строится как совокупность программных объектов, моделирующих поведение составляющих ее относительно обособленных физических элементов - частиц и полей. Взаимодействия между элементами модели описываются с помощью самоадаптирующихся алгоритмов, выбор которых задается при построении модели в зависимости от используемого физического приближения – классического или релятивистского. Используемый подход не требует априорных представлений о характере временной эволюции рассматриваемой физической системы и составления системы дифференциальных уравнений, описывающих эту систему как целое. **Основные результаты.** Проверка работоспособности метода и правильности реализации алгоритмов поведения базовых объектов осуществлялась на тестовых моделях, временная эволюция которых допускает аналитическое описание. Разработанный конструктор обеспечил возможность серийной автоматизированной разработки интерактивных моделей-демонстраций по основным разделам курсов механики, изучаемых в средних и высших учебных заведениях. В состав электронных сборников многоуровневых мультимедийных ресурсов для сопровождения преподавания механики вошло более 150 оригинальных интерактивных моделей. Апробирована возможность использования электронного конструктора как основы для проведения учащимися самостоятельной поисковой работы по исследованию физических свойств сложных механических систем, анализ которых выходит за рамки стандартных программ по физике и математике. Продемонстрированы эвристические возможности создаваемых с помощью электронного конструктора моделей. Показана их применимость для изучения динамики сложных систем, априорный качественный анализ поведения которых не самоочевиден, а аналитический расчет временной эволюции затруднен или невозможен. **Практическая значимость.** Созданное средство автоматизации разработки интерактивных электронных образовательных ресурсов для учебного моделирования позволяет обеспечить решение актуальных задач электронного сопровождения массового индивидуализированного предметного многоуровневого обучения физике и развития активных творческих форм обучения, включающих элементы научного исследования.

Ключевые слова

численное моделирование, объектно-ориентированное программирование, объектно-ориентированное моделирование, классическая механика, релятивистская механика, автоматизация обучения, индивидуализированное обучение, исследовательская работа учащихся

PHYSICAL OBJECT-ORIENTED MODELING IN DEVELOPMENT OF INDIVIDUALIZED TEACHING AND ORGANIZATION OF MINI-RESEARCH IN MECHANICS COURSES

A.S. Chirtsov^{a,b}, D.J. Nicolisky^c, V.A. Brilyantov^a, I.V. Vankovich^a

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

^b Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation

^c University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, 99775, USA

Corresponding author: alex_chirtsov@mail.ru

Article info

Received 24.01.17, accepted 15.02.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-201-214

Article in Russian

For citation: Chirtsov A.S., Nicolisky D.J., Brilyantov V.A., Vankovich I.V. Physical object-oriented modeling in development of individualized teaching and organization of mini-research in mechanics courses. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 201–214. (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-201-214

Abstract

Subject of Research. The paper presents a relatively simple method to develop interactive computer models of physical systems without computer programming skills or automatic generation of the numerical computer code for the complex physical systems. Developed computer models are available over the Internet for educational purposes and can be edited by users in an unlimited number of possibilities. An applicability of computer simulations for the massive open individualized teaching and an organization of undergraduate research are also discussed. **Method.** The presented approach employs an original physical object-oriented modeling method, which is an extension of object-oriented programming ideas to tasks of developing simulations of the complex physical systems. In this framework, a computer model of the physical system is constructed as a set of interconnected computer objects simulating the system components: particles and fields. Interactions between the system components are described by self-adapting algorithms that are specified during the model initiation stage and are set according to either the classical or relativistic approach. The utilized technique requires neither a priori knowledge regarding an evolution of the physical system nor a formulation of differential equations describing the physical system. **Main Results.** Testing of the numerical implementation and an accuracy of the algorithms was performed with the use of benchmarks with the known analytical solutions. The developed method - a physical reality constructor - has provided an opportunity to assemble a series of computer models to demonstrate physical phenomena studied in the high school and university mechanic courses. More than 150 original interactive models were included into the collections of multi-level multimedia resources to support teaching of the mechanics. The physical reality constructor was successfully tested to serve as a test bed for the independent research by students on physical properties of complex mechanical systems, the analysis of which is beyond the scope of the standard physics and mathematics curriculum. The heuristic capabilities of models created by the physical reality constructor were also demonstrated. The capability to investigate dynamics of the complex systems, an a priori analysis of which is not evident or with a difficult or impossible-to-calculate evolution, was also demonstrated. **Practical Relevance.** The developed computer program for automated development of interactive educational simulations provides a solution to standing problems in accompanying massive open individualized learning multi-level courses in physics as well as an opportunity to develop creative forms of training in physics with elements of research.

Keywords

numerical modeling, object-oriented programming, object-oriented modeling, classical mechanics, relativistic mechanics, training automation, individualized training, students research work

Введение

Беспрецедентный по своим масштабам и значимости технологический скачок, результатом которого явилось повсеместное распространение компьютерных технологий, привел к принципиальным изменениям практически всех сторон жизни и деятельности общества, открыв возможности автоматизации не только простых и однообразных операций, но и многих видов интеллектуальной деятельности, включая образование.

Идеи «автоматизации обучения» вызывают настороженное отношение у многих участников образовательного процесса. Это сдерживает внедрение расширяющегося спектра новых возможностей, предоставляемых информационными, мультимедийными и телекоммуникационными технологиями, практике учебного процесса. В такой ситуации оптимальной траекторией компьютеризации образования является селекция предложений, способных обеспечить или облегчить решение реальных и актуальных задач современного образования. Ставшие уже историей кампании компьютеризации образования пока не привели к глобальному улучшению качества обучения и породили определенные разочарования, вплоть до высказываний о крушении надежд на решение проблем образования с помощью цифровых технологий. Несмотря на это, решаемая уже на протяжении почти тридцати лет задача компьютеризации образования России не утратила своей актуальности¹. При этом в областях предметного обучения идет непрерывный и успешный процесс разработки и внедрения электронных ресурсов, ориентированных на решение иногда частных, но конкретных задач, возникающих в практике преподавания [1]. На этом поле физическое образование сохраняет позиции полигона для исследований и апробаций новых вариантов обучения с использованием электронных средств. Еще на первых

¹ Федеральные государственные стандарты среднего образования [Электронный ресурс] / Министерство образования и науки Российской Федерации. [Сайт] (2016). URL <http://минобрнауки.рф/документы/543>

этапах компьютеризации образования, в конце прошлого века, были озвучены призывы к взвешенному подходу к внедрению информационных технологий в предметное обучение и организационное сопровождение реального учебного процесса лишь в тех случаях, когда оно способно предоставить новые возможности, не реализуемые (или трудно реализуемые) в рамках традиционных педагогических технологий [2].

В рамках сформулированного подхода в качестве наиболее перспективного типа электронных образовательных ресурсов (ЭОР) еще в 1990-е годы были предложены интерактивные программы-конструкторы электронных физических моделей изучаемых систем [3] как естественное развитие завоевывающих популярность идей использования компьютерного моделирования в учебной физике. С одной стороны, эти ЭОР обладают, по-видимому, наивысшем уровнем интерактивности и открывают преподавателям широкие возможности педагогического творчества. С другой стороны, электронные конструкторы могут использоваться в качестве основы виртуальных учебных лабораторных работ. Последние выступают как реалистичный вариант осуществления широко рекламируемого сегодня перехода к активным формам обучения, включающим элементы поисковой и исследовательской работы учащихся [4].

Не менее привлекательной выглядит реализуемая электронными конструкторами возможность создания ЭОР участниками учебного процесса без привлечения специалистов в области разработки программ.

Оба варианта использования электронного контента позволяют говорить о новом подходе к автоматизации обучения, ориентированном не на создание стандартной учебной продукции, а, напротив, стимулирующем разнообразие и учитывающем личностные особенности как преподавателей, так и учащихся.

Понятию «активное обучение» посвящена весьма обширная литература [5–11], включающая классификации его форм и толкования смысла самого термина. Спектр последних весьма широк и простирается от «... принудительной активизации мышления, когда обучающийся вынужден быть активным независимо от его желания», до «... самостоятельной творческой выработки решений, повышения степени мотивации и эмоциональности обучаемых» [7, 8]. Не обсуждая проблем целесообразности и эффективности принудительных форм обучения, хочется остановиться на обзоре реальных, но еще не полностью реализованных возможностей использования компьютерного моделирования для решения необходимых для предметного обучения задач повышения мотивации и эмоциональности обучаемых путем организации творческого поиска решений в ходе выполнения самостоятельных учебных исследований на примере курса механики.

Среди многократно дублируемых в литературе перечислений форм активного обучения наиболее часто упоминаются нетрадиционные варианты лекций (проблемные лекции, лекции-визуализации, лекции-диалоги, лекции с запланированными ошибками, лекции-пресс-конференции, лекции-беседы, лекции-дискуссии), учебные семинары (междисциплинарные, проблемные, тематические, ориентационные, системные), учебные дискуссии, учебные встречи «за круглым столом». Все перечисленные формы принципиально применимы при освоении широкой номенклатуры дисциплин и могут успешно развиваться как в компьютеризированных, так и в классических вариантах обучения. Организация же самостоятельных учебных исследований учащихся гораздо более специфична и требует отдельного анализа для каждой предметной области. Общей проблемой является ограниченность доступной для самостоятельной поисковой работы лабораторной и приборной базы в сочетании с, как правило, недостаточным для выполнения полноценных исследований уровнем теоретической и экспериментальной подготовки старшеклассников и студентов младших курсов. Именно эти особенности делают оправданным внедрение ЭОР как весьма универсального средства сопровождения обучения исследовательской работе [4].

В качестве примера вариантов учебных исследований в ходе изучения стандартного курса механики могут быть предложены следующие темы: «Колебания в системах из нескольких ($N > 2$) связанных маятников», «Особенности вращения абсолютно твердого тела», «Особенности движения систем релятивистских частиц», «Столкновения гантелеподобных тел», «Неинерциальные системы отсчета», «Космическая динамика» и другие. Каждая из перечисленных тем допускает самостоятельное изучение в ходе постановки серий виртуальных экспериментов, анализа их результатов, сопоставления с теорией и определения направлений дальнейшего развития работы. Описанная учебно-познавательная деятельность учащихся, очевидно, не является полным исследованием в обычном его понимании, поскольку, как правило, не приводит к генерации новых знаний в конкретной предметной области. Однако в ходе выполнения подобных мини-исследований учащиеся получают первый опыт деятельности практически во всех видах работ, выполняемых в ходе полноценных научных исследований, что в сочетании с приобретением ими дополнительных углубленных знаний по предмету, без сомнения, оказывается весьма полезным.

Несмотря на перечисленные преимущества использования в преподавании физики качественных (приближающихся по уровню к [12–14]) разработок электронных моделей и электронных конструкторов [15–24], этот тип ЭОР до сих пор не нашел должного распространения. Одной из причин является доминирующее и не вполне адекватное отношение к ним как к низкобюджетным заменам реальных учебных экспериментов. Наибольшей информационной эффективностью обладает использование электронных моделей в качестве альтернатив теоретическому рассмотрению сложных объектов или систем, аналитическое описание которых требует использования еще не освоенного учащимися математического аппарата или затруднено по принципиальным причинам. Кроме того, виртуальные физические лаборатории являются уникальным типом учебных ре-

сурсов, пригодных для решения двух весьма амбициозных задач, традиционно стоящих перед образованием – организации массового индивидуализированного обучения и внедрения в него активных, творческих форм, включающих элементы самостоятельных исследований.

Физическое объектно-ориентированное моделирование как база для разработки электронных конструкторов учебных моделей

Идея частичной автоматизации создания ЭОР, обеспечивающих быстрое и нетрудоемкое создание электронных моделей, существенным образом отличающихся друг от друга, предъявляет жесткие требования к инструментариям для их разработки. Последние должны обеспечивать использование разработчиками-предметниками, не являющимися профессионалами в области программирования, должны сочетать возможность создания новых моделей или их блоков с использованием готовых разработок виртуальных объектов с переопределяемыми свойствами. Процесс разработки должен допускать режимы on-line конструирования с проверкой текущих результатов в ходе сборки модели и автоматического клонирования моделей при создании серий их идеологически сходных вариантов. Сами модели должны допускать удаленный доступ по сетям Интернет без каких-либо предварительных загрузок и инсталляций, их редактирование, сохранение и клонирование в on-line режиме работы.

Следует признать, что большинство имеющихся сегодня электронных конструкторов физических систем не удовлетворяет всем перечисленным требованиям из-за своей ресурсоемкости, необходимости развертывания программных пакетов на рабочих станциях пользователей и обучения пользователей работе в программных оболочках конструкторов.

Базой для разработки удовлетворяющих сформулированным требованиям простых и универсальных электронных конструкторов стал оригинальный подход, предложенный авторами еще при создании средств разработки виртуальных физических систем первого поколения и названный ими «физическим объектно-ориентированным моделированием» (ФООМ).

Объектно-ориентированное программирование как база для разработки электронных конструкторов учебных моделей

В основе идеи разработанных электронных конструкторов лежит общая логика построения физики, стремящейся к максимально упрощенному описанию многообразной действительности путем ее представления в виде совокупности элементов, число базовых типов которых невелико. Доведенная до своего логического завершения, идея построения универсального электронного конструктора физических моделей требовала бы выбора в качестве базовых элементов квантовых микрообъектов. Создание такой универсальной моделирующей среды для задач макрофизики в настоящее время кажется заведомо нереалистичным. Практически реализуемым приближенным подходом является представление тел в виде совокупностей материальных точек или их систем, поведение которых описывается классическими уравнениями динамики (или их релятивистскими аналогами). Взаимодействия между материальными точками в рамках такого подхода могут описываться при помощи силовых полей, корректируемых в зависимости от конфигурации моделируемой системы. Именно в рамках такого подхода открывается принципиальная возможность автоматизации разработки широкого класса моделей классической физики.

Сама идеология электронного конструктора, подразумевающего возможность изменения числа и типов объектов, включаемых в моделируемую систему, хорошо коррелирует с принципами объектно-ориентированного программирования, на базе которого осуществлялась разработка [25].

Для реализации этой идеи было признано целесообразным создание двух основных базовых семейств классов – «частицы» и «поля» (`_Particle`, `_Field`). Третий базовый класс (`_Window`) разрабатывался для обеспечения диалогов с пользователем и визуализации результатов моделирования в запрашиваемой им форме (рис. 1). Современная версия программы содержит более ста дочерних классов объектов, принадлежащих этим трем базовым семействам.

Класс `_Particle` является основой для построения электронных моделей частиц с редактируемым набором исходных свойств и меняющимися кинематическими характеристиками. В методах класса предусмотрена возможность получения объектами данных от полей (объектов класса `_Field`) о состоянии последних и передачи окнам анимации и построения графиков по их запросам собственных кинематических характеристик вместе с графическими образами, устанавливаемыми пользователем. Дочерние классы `_Classic` и `_Relativistic` обеспечивают моделирование поведения макрочастиц в приближениях классической и релятивистской физики. Для этого на каждом шаге эволюции виртуальной системы осуществляется автоматическая генерация собственных уравнений движения каждого объекта и их численное интегрирование по самонастраиваемым алгоритмам, содержащимся во внутренних методах классов.

Объекты семейства `_Field` передают «частицам» информацию о внешних силовых полях, определяемых при построении моделей, осуществляют опрос «частиц» об их состояниях и на основе полученных данных корректируют свои состояния. Описанный протокол обмена данными осуществляет «физический» вариант учета взаимодействий, удобный для использования моделей систем классической меха-

ники. Помимо него была предусмотрена возможность введения «нефизических взаимодействий» (парных и однонаправленных) путем организации прямых диалогов внутри пар частиц, указываемых при составлении модели. Последнее существенно расширяет функционал конструктора, в частности, обеспечивая возможность создания серий поэтапно усложняющихся демонстраций, иллюстрирующий методически важный метод уточнения физических моделей путем включения в них все более слабых взаимодействий. Возникающие при втором подходе «дополнительные степени свободы» также полезны при создании демонстраций явлений, описание которых выходит за рамки классической физики (например, эффекты запаздывания взаимодействий, полезные для построения моделей систем, изучаемых в рамках релятивистской механики).

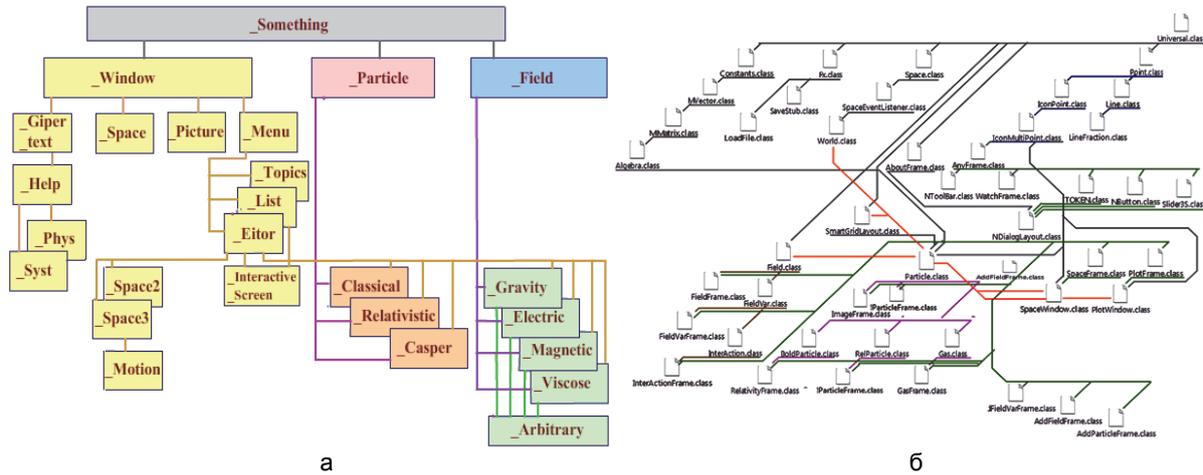


Рис. 1. Основные классы программы-конструктора «Движение заряженных частиц в силовых полях»: иерархия классов первой версии ... (а); упрощенная схема семейств классов современной версии (линиями показаны наследования свойств) (б)

В ходе моделирования фокус активности поочередно передается каждому из объектов сгенерированной системы. Активный объект объекты, опрашивает все принципиально способные повлиять на его эволюцию, об их состояниях, после чего самостоятельно вырабатывает «стратегию своего поведения» на очередном шаге интегрирования в зависимости от собственной настройки и методов его класса. В результате осуществляется численное интегрирование системы уравнений движения типа

$$\left\{ \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t), \quad \mathbf{v} = \mathbf{p}(m^2 + \alpha^2 \mathbf{p}^2)^{-1/2}, \quad \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v}, \right. \quad (1)$$

где \mathbf{p} и \mathbf{v} – соответственно импульс и скорость частицы с массой покоя m ; \mathbf{r} – ее радиус-вектор; \mathbf{F} – сумма действующих сил

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) = m\mathbf{g}(\mathbf{r}, t) + q\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) + \alpha[\mathbf{v}, \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)] - \eta(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)\mathbf{v} + \mathbf{F}_{rad}. \quad (2)$$

В приведенных соотношениях t – момент времени, для которого осуществляется расчет; α – обратная скорость света (в использованной в программе атомной системе единиц – постоянная тонкой структуры); \mathbf{g} , \mathbf{E} и \mathbf{B} – напряженности гравитационного, электрического и магнитного полей соответственно; η – коэффициент вязкого трения, \mathbf{F}_{rad} – учитываемая в выбираемом пользователем приближении (Лоренца или вязкого трения) сила радиационного торможения.

Конструктор допускает моделирование движения в гравитационных, электрических и магнитных полях, изменяющихся в пространстве и времени по определяемым пользователем законам. Допускается учет действия диссипативных сил, включая радиационное трение.

Интегрирование уравнения движения (1)–(2) методом Рунге–Кутты четвертого порядка [26] осуществляется в результате «взаимодействий» всей совокупности составляющих виртуальную систему объектов (рис. 2).

Использованный подход к моделированию не требует составления систем дифференциальных уравнений, описывающих систему в целом, или разработки каких-либо глобальных алгоритмов для численного моделирования каждой конкретной созданной системы. Любое редактирование модели практически не изменяет ее описания: уничтожение, добавление или изменение любого элемента системы учитывается автоматически через изменение потоков данных, которыми обмениваются объекты виртуальной системы в ходе диалогов, имитирующих взаимодействия. Описанные особенности являются отличительной чертой объектно-ориентированного моделирования (ООМ).

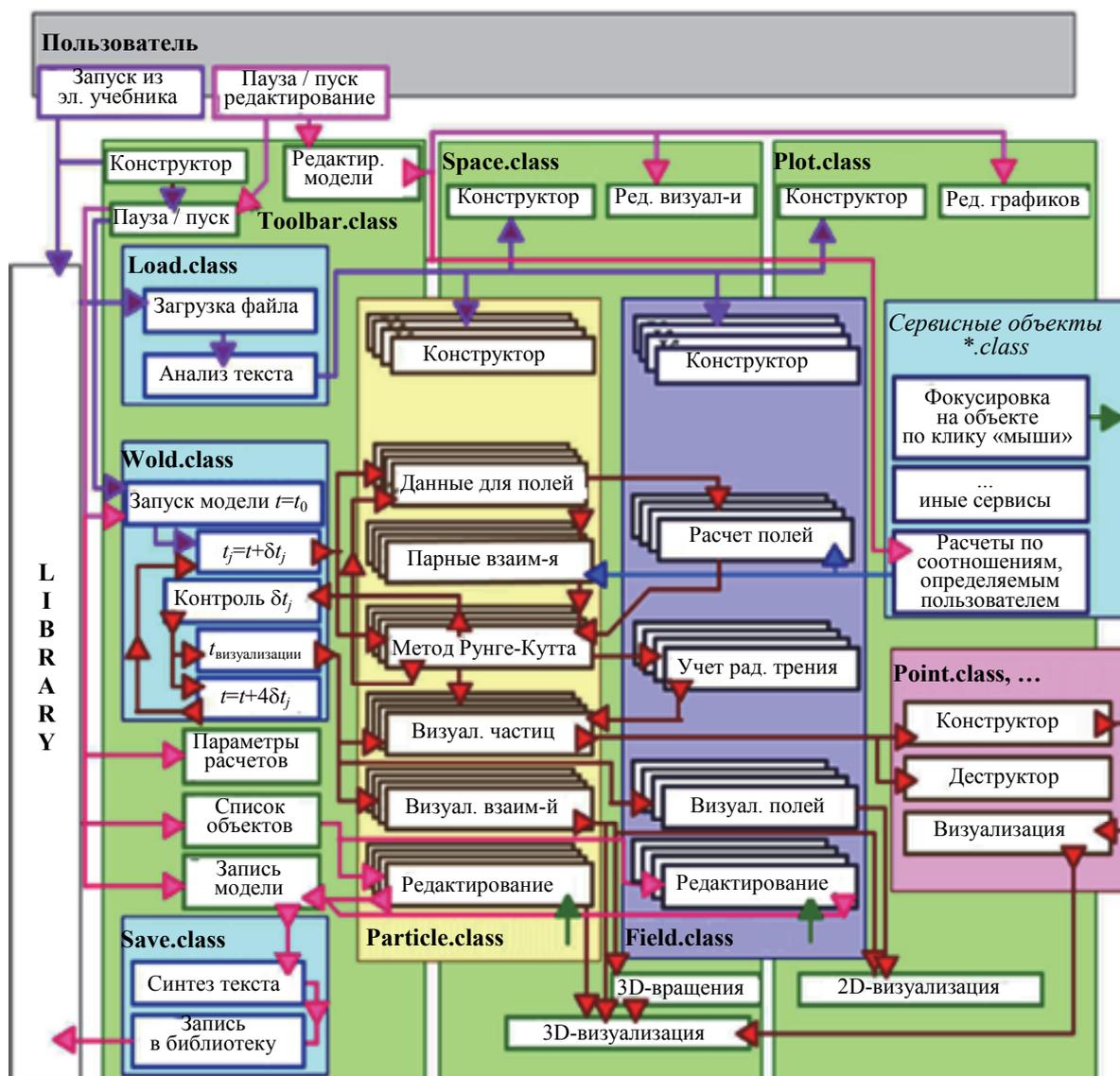


Рис. 2. Упрощенная схема алгоритма моделирования эволюции виртуальной физической системы программы-конструктора «Частицы в силовых полях»

Объектно-ориентированное моделирование: традиционный и физический подходы

Использованный в электронных конструкторах вариант построения автоматически адаптирующихся к решаемой задаче алгоритмов первоначально получил условное название «объектно-ориентированного моделирования», подчеркивающее его связь с породившими его принципами программирования. Сегодня указанный термин приобретает популярность для обозначения активно развивающихся подходов [27], близких по идеологии к описанному, но не эквивалентных ему. В связи с этим представляется полезным продемонстрировать основные отличия между оригинальной концепцией использованного подхода «Физического объектно-ориентированного моделирования» (ФООМ) и становящимся уже традиционным «объектно-ориентированным моделированием» (ООМ), развивающегося на базе специализированного языка UML [28–30].

Традиционное ООМ рассматривает эволюцию моделируемой системы как последовательность различных физических состояний, каждое из которых описывается собственной системой дифференциальных уравнений, формируемых в процессе конструирования модели пользователем или какими-либо средствами автоматизации. Каждая из таких систем решается обособленно (численно или с использованием символьных вычислений). При этом рассчитываемые параметры системы в момент ее выхода из текущего состояния рассматриваются как совокупность начальных условий для решения уравнений движения в следующем состоянии. Такой подход требует априорных знаний о последовательности качественно различающихся между собой состояний, проходимых системой, и специфике аналитического описания каждого из них. Подход эффективен при моделировании технических устройств и систем, каждый из возможных режимов функционирования которых, как правило, весьма строго детерминирован и описан.

Моделирование же сложных систем естественного происхождения, как правило, используется в случаях, когда построение их аналитического описания наталкивается на существенные трудности из-за ее сложности, неполного знания совокупности физических принципов или недостаточности математического аппарата для адекватного описания. Возможность представления эволюции системы в виде последовательно сменяющихся друг друга качественно различающихся аналитически описываемых состояний в физике возникает скорее как исключение из общего свойства непрерывности протекания процессов в природе. Резкие скачки и границы, как правило, вводятся искусственно в процессе построения математических моделей ради упрощения и исчезают при переходах к более точному описанию. Таким образом, основные отличия между ООМ и ФООМ обусловлены различиями между техническим и физическим подходами к описанию действительности и вытекающими из них особенностями использования численного моделирования в задачах физики и техники.

Для иллюстративного сравнения двух подходов удобно использовать простой физический пример, ставший хрестоматийным в учебных пособиях по ООМ. В [28] и [30] рассмотрена задача падения массивного шарика на «идеальную пружину с нулевой массой», расположенную на упругой отражающей поверхности. Предложенная для ООМ теоретическая модель системы включала три основных состояния: свободное падение тела под действием сил тяготения, движение в контакте с пружиной (учитывается действие двух сил – тяготения и упругости) и мгновенный упругий отскок от поверхности в случае полного сжатия пружины до нулевого значения длины. Математическая модель системы в основных состояниях представляется обособленным алгоритмом расчета упругого столкновения и двумя уравнениями движения для первого и второго состояний системы:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg, & z \geq z_0 + l_0; \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg + k(z_0 + l_0) - z, & z \leq z_0 + l, \end{cases} \quad (3)$$

где z – координата падающего шарика, z_0 – координата упругого пола, l и l_0 – длины деформированной и недеформированной пружины, k – ее жесткость, g – ускорение свободного падения.

Для построения ООМ-модели использовались либо возможности подсистемы Simulink пакета MATLAB [31], требующей использование формализма обобщенных гибридных автоматов, либо непосредственного программирования на специально построенных и развитых для подобных задач языках типа Modelica [32], либо специальных карт состояний [33]. Указанные пути построения моделей естественны и легкодоступны для всех профессиональных разработчиков и требуют от них нескольких часов работы [28]. Однако перечисленные формализмы не относятся к числу традиционно используемых в физике и, как правило, не изучаются в рамках общеобразовательных программ. Это является препятствием на пути использования ООМ-моделей в обучении физике и, по-видимому, объясняет определенный пессимизм относительно перспектив привлечения участников учебного процесса к использованию ООМ для организации активного обучения.

С помощью ФООМ-конструктора [24] тестовая демонстрация [28, 30] разрабатывается за 25–20 мин путем непосредственной «сборки» виртуальной модели на экране компьютера. Компьютерная симуляция, построенная в рамках предложенной теоретической модели (3), полностью повторяет приведенные в тестовом примере результаты – периодические незатухающие отскоки «мяча».

Вместе с тем использование в исходной теоретической модели приближения «невесомой пружины конечной длины», задаваемой в ФООМ-конструкторе ограниченной областью пространства с однородным полем упругих сил, с физической точки зрения требует критического рассмотрения. Допущение о равномерном сжатии пружины при воздействии на нее жесткого шарика не является самоочевидным. ФООМ-конструктор позволяет продолжить изучение системы даже в случае отсутствия априорных представлений об истинном поведении пружины, расположенной между упругой плоскостью и падающим массивным телом. Новый этап мини-исследования состоит в построении более адекватной модели пружины, которую разумно рассматривать в виде цепочки «витков» – небольших жестких секций с малой (по сравнению с шаром) массой, упруго связанных друг с другом (рис. 3). Описанная система легко собирается из стандартных элементов конструктора – «классических частиц» и «парных упругих взаимодействий». Выбор соотношения между длиной связи и размером составляющих «пружину» частиц обеспечивал возможность перехода от «чисто упругих» колебаний пружины к движению, сопровождающемуся ударами между витками пружины, из-за которых учитываемый предшествующими моделями отскок мяча непосредственно от пола оказывался невозможным.

Даже в случае малых энергий системы (при отсутствии соударений между витками пружины) ФООМ демонстрирует особенности, существенно дополняющие исходную теоретическую ООМ-модель: амплитуда колебаний мяча постепенно затухает из-за передачи энергии пружине (рис. 3), обладающей существенно большим числом степеней свободы. В ходе этого процесса пружина совершает несколько прыжков, при которых постепенно возбуждаются все новые моды ее внутренних колебаний. Постепенно

система переходит к квазистационарному состоянию, в котором мяч совершает малые хаотические колебания на высоте, превышающей размеры недеформированной пружины. Элементы последней, в свою очередь, совершают весьма сложные колебания, «заполняя» промежуток между опорой и мячом, обеспечивая его зависание. В случае больших значений начальной энергии мяча вместо его отскоков от поверхности пола возникают множественные удары между элементами пружины.

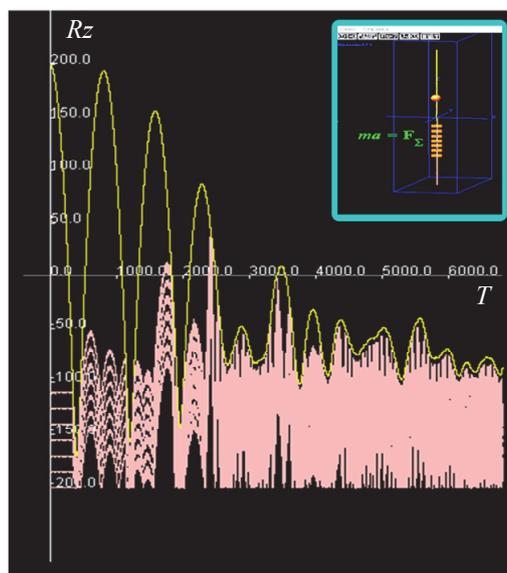


Рис. 3. Интерактивная компьютерная модель пружины с падающим на нее мячиком, созданная с помощью ФООМ-конструктора

Построенная с помощью конструктора модель демонстрирует физически правильную картину постепенного перехода системы к термодинамическому равновесию, характеризующегося частичным переходом механической энергии движения ее «макроскопических» элементов в их «внутреннюю» («тепловую») энергию: колебания пружины и квазихаотическое движение мяча. Важно отметить, что в модели не использованы диссипативные силы и обеспечивается сохранение полной механической энергии. Частичная передача тепла окружающей среде может быть легко учтена путем введения небольших потерь энергий связей между элементами пружины.

Таким образом, использование разработанной на базе ФООМ модели позволяет продемонстрировать ряд существенных эффектов, ранее не учтенных при построении априорной теоретической модели для традиционного ООМ. При этом не требуется никаких идей о поведении системы в целом. Для ФООМ-подхода оказывается достаточно лишь корректного описания надежно установленных и носящих хрестоматийный характер законов поведения составляющих систему простых элементов. Описание серии аналогичных примеров «эвристических возможностей ФООМ» из других разделов физики содержится в [34–38].

Отдельного обсуждения требует вопрос о соответствии результатов численного моделирования, осуществляемого с помощью конструируемых пользователем виртуальных электронных аналогов физических систем, их реальным свойствам и характеристикам. Сформулированная проблема распадается на две: обеспечение корректности и необходимой точности вычислений в ходе численного моделирования и принятие решения о физической правильности и соответствии реальной физической системе самой виртуальной модели и алгоритмов ее функционирования.

Что касается первой проблемы, то точность и корректность вычислений обеспечивается использованием апробированных алгоритмов интегрирования уравнений движения и автоматизированным выбором шага интегрирования. Эффективным методом контроля качества моделирования являются многочисленные сопоставления его результатов с аналитическими решениями в тех, как правило, предельных случаях, когда последние оказываются возможными. Для реализации такой возможности в конструкторы введены специальные объекты, поведение которых определяется задаваемым пользователем алгоритмом.

Проблема контроля правильности построения самой модели реальной физической системы является принципиально сложной. Предоставляемая пользователю практически неограниченная свобода в построении виртуальных физических систем допускает возможность создания демонстраций, заведомо не соответствующих физической реальности. Проблема не может быть решена путем включения в систему программы-конструктора соответствующего модуля внутреннего контроля правильности построения физической модели. Во-первых, сама идея создания проверяющей программы подразумевает наличие исчерпывающего знания о законченной теоретической картине окружающего мира, что невозможно. Во-вторых, наличие та-

кой системы сделало бы невозможными весьма полезные с методической точки зрения демонстрации систем, содержащих гипотетические физические объекты (магнитные монополи, кварки и т.д.). Последнее лишило бы компьютерное моделирование одного из основных его преимуществ перед реальным экспериментом. На рис. 4 приведены примеры физически некорректных моделей, имеющих определенное методическое значение: демонстрация особенностей движения электрона в поле магнитного монополя Дирака, строго говоря, некорректна из-за отсутствия экспериментальных наблюдений монополя; классический расчет траектории нуклона в потенциале ядерных сил заведомо лежит вне рамок применимости ньютоновской механики. Вместе с тем обе модели многократно использовались на публичных лекциях по современной физике и не встретили нареканий со стороны компетентных аудиторий.

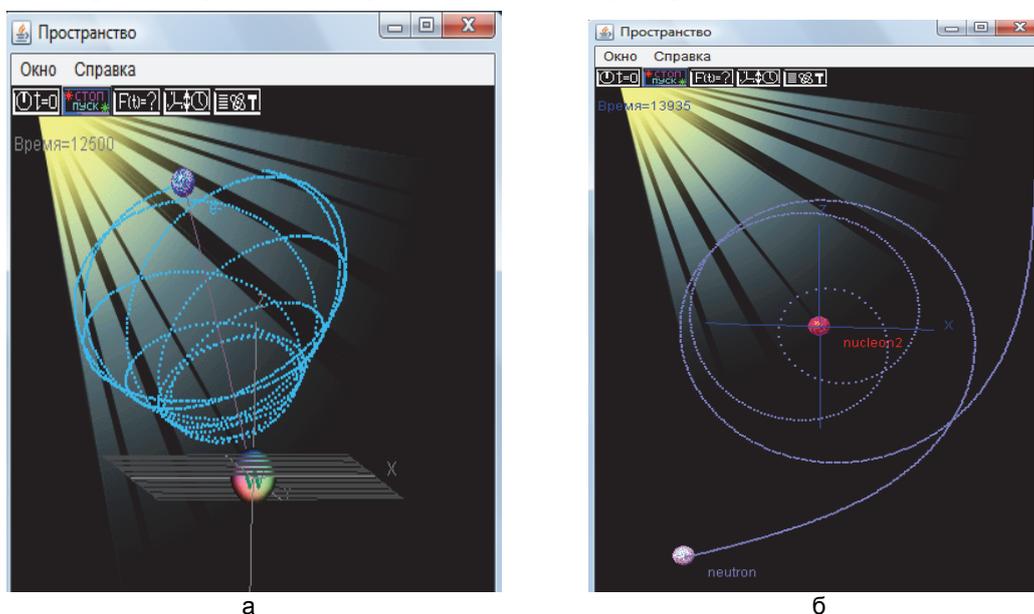


Рис. 4. Примеры использования возможности переопределения законов взаимодействия между объектами: ФООМ-модели движения электрона в поле электрически заряженного монополя Дирака (а); квазиклассическая модель движения нуклона в поле ядерных сил, соответствующем потенциалу Юкавы (б)

Опыт интеграции ФООМ-моделей в курсы углубленного изучения физики

В рамках идеологии ФООМ в настоящее время разработаны четыре программы-конструктора, позволяющие создавать 3D-модели систем, представимых в виде взаимодействующих друг с другом и с внешними полями классических и релятивистских частиц, демонстрировать пространственные конфигурации электрических и магнитных полей определяемых пользователем конфигураций зарядов и токов, моделировать распространение световых пучков в сложных оптических системах с учетом эффектов интерференции и самовоздействия света в нелинейных средах, демонстрировать дифракцию света на экранах, характеризуемых произвольно задаваемой комплексной функцией пропускания. На базе этих конструкторов создано более 300 демонстраций, включенных в многоуровневые электронные сборники мультимедийных материалов для сопровождения теоретических занятий по физике самого широкого спектра уровней сложности – от университетских курсов до средних учебных заведений с углубленным изучением физики [37, 38]. Интерактивные демонстрации широко применяются при чтении курсов «Концепции современного естествознания» для аудиторий с низким уровнем подготовки и мотивации в области точных наук и математики [39], при проведении публичных научно-популярных лекций [40] и создании видеосопровождений on-line курсов для удаленного обучения, по МООС-технологиям [41]. Описанные варианты использования ФООМ-демонстраций для сопровождения обучения, существенно отличающихся друг от друга по мотивации и подготовке групп, демонстрируют применимость описанного подхода к решению задач автоматизации создания средств для массового индивидуализированного образования.

В области поиска эффективных форм активного обучения с элементами исследований накоплен почти десятилетний опыт использования интерактивных моделей и конструкторов для привлечения учащихся к самостоятельной поисковой деятельности. Для учащихся физико-математических лицеев Санкт-Петербурга в рамках экспериментальной образовательной программы «Физика и компьютер» [42] были организованы студийные факультативные занятия, в ходе которых учащиеся разрабатывали свои оригинальные компьютерные модели с целью самостоятельного изучения вопросов, не входящих в обязательную программу для средней школы. Результаты докладывались на школьных научно-практических конференциях разных уровней и нередко перерастали в темы самостоятельных студенческих исследований.

Аналогичная деятельность была организована и на младших курсах бакалавриата с углубленным изучением физики по направлению «Прикладные математика и физика» на физическом факультете СПбГУ в рамках выполнения программы «Инновационная образовательная среда в классическом университете» [43] и в созданном в ходе выполнения «Программы 5–100» в Университете ИТМО бакалавриате с углубленным изучением физики и информационных технологий [44]. С первого семестра студентами выполнялись самостоятельные исследовательские работы по физическому моделированию, результаты которых докладывались на специально организуемых мини-конференциях в конце каждого их семестров и учитывались при выставлении экзаменационных оценок по физике и программированию. В зависимости от интересов и профессиональной ориентации студенты выбирают темы, сфокусированные на физической и (или) учебно-методической стороне мини-исследования [45], расширении возможностей электронных конструкторов путем разработок собственных моделей (Д.Е. Ваксман, П.А. Головин «Стереометрия четырехмерного пространства-времени Минковского в 3D- и 2D-моделях»; В.А. Брильянтов, И.В. Ванькович «Численное моделирование процессов диффузии»), создании собственных оригинальных программных разработок в интересах поддержки физического образования (А.А. Колчанов «Методика проверки безопасности сайтов поддержки олимпиад по физике»). Лучшие работы получают рекомендации к представлению на международные конференции или к опубликованию. Наиболее мотивированные и успешные студенты, получившие опыт самостоятельных мини-исследований во время обучения на младших курсах, и аспиранты включаются в коллектив разработчиков электронных конструкторов и становятся полноправными соавторами полноценных научных исследований [46].

В последние годы в связи с возросшей популярностью on-line образования и распространением МООС-технологий (Massive On-lain Open Curses) возникла новая область эффективных приложений ФООМ-моделей [41]. С одной стороны, эти модели в силу их простой адаптируемости для различных задач оказались весьма удобными для создания видеоиллюстраций к курсам (рис. 5), с другой – их ориентированность на on-line использование в сетях Интернет открывает широкие перспективы организации активных форм удаленного обучения, подразумевающего выполнение слушателями самостоятельных мини-исследований.

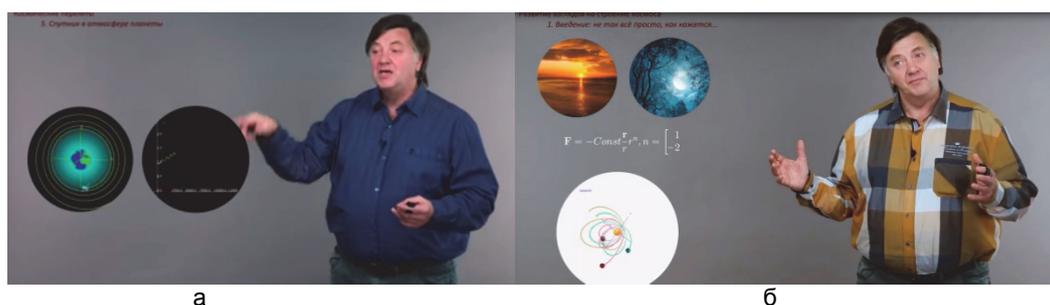


Рис. 5. Примеры интеграции ФООМ-моделей и МООС-технологий в on-line видеолекциях по курсу небесной механики: разгон спутника, испытывающего действие сил трения в верхних слоях атмосферы (а); иллюстрация эффекта увеличения вероятности космических катастроф в случае нарушения закона обратных квадратов для гравитационных сил (б)

Заключение

Рассмотренные примеры практической реализации очного и удаленного активного обучения с использованием интерактивных моделей, разработанных на основе принципов физического объектно-ориентированного моделирования, демонстрируют практическую возможность использования мультимедийных электронных образовательных ресурсов для эффективного сопровождения поисковых форм освоения нового материала. Разработанный и использованный для создания серий компьютерных моделей электронный конструктор продемонстрировал свою пригодность для решения задач обеспечения развития массового индивидуализированного обучения и организации поисковых форм учебной работы с элементами научных исследований. В настоящее время описанный подход используется при разработке электронных конструкторов для автоматизированного создания новых электронных ресурсов учебно-научного назначения по квантовой физике, химии и физике нелокальной плазмы [41, 47].

Литература

1. Бобович А.В., Космачев В.М., Чирцов А.С. Интеграция информационных технологий в образование // Компьютерные учебные программы и инновации. 2001. №3. С. 39–56.
2. Бугиков Е.И., Чирцов А.С. Законы движения макроскопических тел. Пакет обучающих и демонстрационных программ по курсу общей физики // Труды III Международной конф. Model-Oriented Data Analysis. Санкт-Петербург. 1992. Ч. 2. С. 27.

References

1. Bobovich A.V., Kosmachev V.M., Chirtsov A.S. Integration of information technologies in education. *Komp'yuternye Uchebnye Programmy i Innovatsii*, 2001, no. 3, pp. 39–56. (In Russian)
2. Butikov E.I., Chirtsov A.S. Laws of macroscopic bodies motion. Package of training and demonstration programs in the course of general physics. *Proc. III Int. Conf. on Model-Oriented Data Analysis*. St. Petersburg, 1992, part 2, p. 27. (In Russian)
3. Chirtsov A.S. Training Programs Package: “Motion of charged

3. Чирцов А.С. Пакет обучающих программ по теме: "Движение заряженных частиц в силовых полях": конструирование физических систем и моделирование процессов на компьютере // Труды Международной конференции "Физика в системе современного образования". Петрозаводск, 1995. С. 244.
4. Марек В.П., Чирцов А.С. Использование компьютерных технологий и моделирования для приближения лабораторных работ к научным исследованиям // Компьютерные инструменты в образовании. 2014. №1. С. 44–59.
5. Джонсон Д., Джонсон Р., Джонсон Э. Методы обучения: Обучение в сотрудничестве. СПб.: Экономическая школа, 2001. 253 с.
6. Мухина С.А., Соловьева А.А. Современные инновационные технологии обучения. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 360 с.
7. Буланова-Топоркова М.В. Педагогика и психология высшей школы. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 544 с.
8. Селевко Г.К. Энциклопедия образовательных технологий. М.: НИИ школьных технологий, 2006. Т. 1. 816 с.
9. Князева О.Н. Конструктивное взаимодействие преподавателей и студентов как фактор повышения качества обучения в вузе: дис. ... канд. пед. наук. Воронеж, 2011. 212 с.
10. Панина Т.С., Вавилова Л.Н. Современные способы активизации обучения. М.: Академия, 2006. 176 с.
11. Дмитриева Е.Л., Тиняков О.А., Бурдастых Е.Н., Малышева Н.С. Применение интерактивных методов в образовательном процессе // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2014. № 1. С. 239–249.
12. Butikov E.I. Spring pendulum with dry and viscous damping // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2015. V. 20. P. 298–315.
13. Butikov E.I. Regular Keplerian motions in classical many-body systems // European Journal of Physics. 2000. V. 21. N 5. P. 465–482. doi: 10.1088/0143-0807/21/5/313
14. Козел С.М., Орлов В.А., Кавтарева А.Ф. Открытая физика 2.5. Электронный курс. М.: Физикон, 2002. 250 с.
15. Interactive Physics [Электронный ресурс]. 2010. URL: <http://interactivephysics.design-simulation.com/IP/index.php> (дата обращения 15.02.17).
16. LabView. [Электронный ресурс]. 2010. URL: <http://www.labview.ru> (дата обращения 15.02.17).
17. Живая физика. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.int-edu.ru/content/zhivaya-fizika-43-virtualnaya-fizicheskaya-laboratoriya> (дата обращения 15.02.17).
18. Бандин Д.В., Мухин О.И. Виртуальная физика [Электронный ресурс]. 2010. URL: <http://stratum.ac.ru/rus/products/vphysics/page8.html> (дата обращения 15.02.17).
19. Crocodile Physics [Электронный ресурс]. 2009. URL: <http://www.crocodile-clips.com> (дата обращения 15.02.17).
20. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Математическое моделирование в картинках или рисуем поведение динамических систем с помощью "MODEL VISION" // Компьютерные инструменты в образовании. 1999. №5. С. 45–52.
21. Байядин Д.В., Мухин О.И. Модельный практикум и интерактивный задачник по физике на основе системы STRATUM 2000 // Компьютерные учебные программы. 2002. № 3. С. 28–37.
22. Электричество и магнетизм. Оптика и волны. Виртуальные лаборатории ЕНКА [Электронный ресурс]. URL: <http://www.int-edu.ru/content/elektrichestvo-i-magnetizm-optika-i-volny-virtualnye-laboratorii-enka> (дата обращения 15.02.17).
23. Монахов В.В., Кожедуб А.В., Евстигнеев Л.А., Стафеев С.К. Конструкторы виртуальных лабораторных работ по физике на основе среды BARSIC // Труды VIII междунар. конф. ФССО-05. С. 577–579.
24. Чирцов А.С. Новые подходы к созданию электронных конструкторов виртуальных физических моделей с простым удаленным доступом // Компьютерные инструменты в образовании. 2010. №6. С. 42–56.
25. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process. 4th ed. Addison-Wesley, 2013. 336 p.
26. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. 3-е изд. М.: Наука, 1967. 368 с.
27. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Oregon, 1994. 395 p.
- particles in force fields": construction of physical systems and computer modeling. Proc. Int. Conf. on Physics in Modern Education System. Petrozavodsk, 1995, p. 244. (In Russian)
4. Marek V.P., Chirtsov A.S. Use of computer techniques and modeling for the approximation of laboratory study to scientific research. Computer Tools in Education Journal, 2014, no. 1, pp. 44–59. (In Russian)
5. Johnson D., Johnson R., Johnson E. Training Methods: Education in Cooperation. St. Petersburg, Ekonomicheskaya Shkola, 2001, 253 p. (In Russian)
6. Mukhina S.A., Solov'eva A.A. Modern Innovative Learning Technologies. Moscow, GEOTAR-Media, 2008, 360 p. (In Russian)
7. Bulanova-Toporkova M.V. Pedagogy and Psychology of Higher Education. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2006, 544 p. (In Russian)
8. Selevko G.K. Encyclopedia of Educational Technologies. Moscow, NII Shkol'nykh Tekhnologii Publ., 2006, vol. 1, 816 p. (In Russian)
9. Knyazeva O.N. Konstruktivnoe vzaimodeistvie prepodavatelei i studentov kak faktor povysheniya kachestva obucheniya v vuze: dis. ... kand. ped. nauk [Constructive interaction of teachers and students as a factor of quality improving in university education. PhD Thesis in Edu. Sci]. Voronezh, 2011, 212 p. (In Russian)
10. Panina T.S., Vavilova L.N. Modern Methods of Training Activization. Moscow, Akademia Publ., 2006, 176 p. (In Russian)
11. Dmitrieva E.L., Tinyakov O.A., Burdastykh E.N., Malysheva N.S. Use of interactive training methods at institutes of higher education. Scientific Notes: The online academic journal of Kursk State University, 2014, no. 1, pp. 239–249. (In Russian)
12. Butikov E.I. Spring pendulum with dry and viscous damping. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2015, vol. 20, pp. 298–315.
13. Butikov E.I. Regular Keplerian motions in classical many-body systems. European Journal of Physics, 2000, vol. 21, no. 5, pp. 465–482. doi: 10.1088/0143-0807/21/5/313
14. Kozel S.M., Orlov V.A., Kavtareva A.F. Open Physics 2.5. E-course. Moscow, Fizikon Publ., 2002, 250 p. (In Russian)
15. Interactive Physics. 2010. Available at: <http://interactivephysics.design-simulation.com/IP/index.php> (accessed 15.02.17).
16. LabView. 2010. Available at: <http://www.labview.ru> (accessed 15.02.17).
17. Animate Physics. Available at: <http://www.int-edu.ru/content/zhivaya-fizika-43-virtualnaya-fizicheskaya-laboratoriya> (accessed 15.02.17).
18. Bandin D.V., Mukhin O.I. Virtual Physics. 2010. Available at: <http://stratum.ac.ru/rus/products/vphysics/page8.html> (accessed 15.02.17).
19. Crocodile Physics. 2009. Available at: <http://www.crocodile-clips.com> (accessed 15.02.17).
20. Kolesov Yu.B., Senichenkov Yu.B. Mathematical modeling in pictures or draw behavior of dynamic systems using "MODEL VISION". Computer Tools in Education Journal, 1999, no. 5, pp. 45–52. (In Russian)
21. Bayandin D.V., Mukhin O.I. Model practice and interactive problem book in physics on the base of STRATUM 2000 system. Komp'yuternye Uchebnye Programmy, 2002, no. 3, pp. 28–37. (In Russian)
22. Electricity and Magnetism. Optics and Waves. ENKA Virtual Laboratories. Available at: <http://www.int-edu.ru/content/elektrichestvo-i-magnetizm-optika-i-volny-virtualnye-laboratorii-enka> (accessed 15.02.17).
23. Monakhov V.V., Kozhedub A.V., Evstigneev L.A., Stafeyev S.K. Designers of virtual laboratory work in physics in BARSIC. Proc. VIII Int. Conf. FSSO-05, pp. 577–579. (In Russian)
24. Chirtsov A.S. New approaches to creating electronic designers of virtual physical models with simple remote access. Computer Tools in Education Journal, 2010, no. 6, pp. 42–56. (In Russian)
25. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process. 4th ed. Addison-Wesley, 2013, 336 p.
26. Demidovich B.P., Maron I.A., Shuvalova E.Z. Numerical Methods of Analysis. 3rd ed. Moscow, Nauka Publ., 1967, 368 p. (In Russian)
27. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Oregon, 1994. 395 p.

28. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. СПб.: СПбГПУ, 2004. 239 с.
29. Труб И.И. Объектно-ориентированное моделирование на C++. СПб.: Изд-во Питер, 2006. 416 с.
30. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. СПб.: БХВ Петербург, 2012. 185 с.
31. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Основы применения. Полное руководство пользователя. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 576 с.
32. Jeandel A., Boudaud F. Physical system modelling languages: from ALLAN to Modelica // Building Simulation'97, IBPSA Conference. Prague, 1997.
33. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 403 с.
34. Микушев В.М., Чайковская О.М., Чирцов А.С. Использование физического объектно-ориентированного моделирования в МООС по механике. Томск: НТЛ, 2015. 36 с.
35. Чирцов А.С. Физическое объектно-ориентированное моделирование в курсах механики. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 148 с.
36. Моклев В.В., Чирцов А.С. Вариант использования компьютерного моделирования физических систем для организации самостоятельной исследовательской работы студентов младших курсов // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2014. Т. 1. С. 153–154.
37. Абутин М.В., Колинко К.П., Чирцов А.С. Серия электронных сборников «Физика: модель, эксперимент, реальность». Старшеклассникам о гравитации // Компьютерные инструменты в образовании. 2004. №6. С. 3–16.
38. Абутин М.В., Колинко К.П., Никольский Д.Ю., Чирцов А.С. Серия электронных сборников «Физика: модель, эксперимент, реальность». Использование возможностей мультимедиа и информационных технологий для поддержки преподавания курса оптики // Вестник СПбГУ. 2005. № 2. С. 104–110.
39. Чирцов А.С. Концепции современного естествознания. СПб.: Бельведер, 2002. 280 с.
40. Чирцов А.С. Гравитация: развитие взглядов от Ньютона до Эйнштейна [Электронный ресурс]. 2016. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCnJpbR9H110msdbkwhyokWQ> (дата обращения 15.02.17).
41. Sychov S.V., Chirtsov A.S. Automation of creation of educational content for a courses of physics and chemistry for mass individualised education // Science and Society. 2016. №2. P. 34–47.
42. Бобович А.В., Космаев В.М., Чирцов А.С. Интеграция информационных технологий в образование // Компьютерные учебные программы и инновации. 2001. №3. С. 39–56.
43. Чирцов А.С., Абутин М.В., Марек В.П., Микушев С.В. Новые варианты использования информационных и мультимедийных технологий для реализации непрерывного высшего образования // Физическое образование в вузах. 2012. Т. 18. № 1. С. 109–125.
44. Курашова С.А., Чирцов А.С., Колчанов А.А. и др. Организация интенсивного обучения углубленному курсу физики в бакалавриате Университета ИТМО для подготовки кадров для научно-ориентированных магистратур в проекте «5-100» // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2016. Т.1. С. 161–163.
45. Трифонов А.В., Курашова С.А., Чирцов А.С. Учебное мини-исследование особенностей движения классических и релятивистских частиц в электромагнитных полях // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2016. Т.1. С. 57–59.
46. Чирцов А.С., Панин М.И. Анализ возможностей использования численных симуляций случайных процессов при моделировании нелокальной плазмы // Труды конференции Инновационные внедрения в области естественных и математических наук. Москва, 2017. Т. 1. С.56–64.
47. Chirtsov A.S., Mikushev V.M., Lebedeva E.V., Sychov S.V. Numerical simulation of glow discharge in air mixtures under low pressure conditions // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. N 24. P. 11836–11846.
- Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Oregon, 1994, 395 p.
28. Kolesov Yu.B. *Object-Oriented Modeling of Complex Dynamic Systems*. St. Petersburg, SPbSPU Publ., 2004, 239 p. (In Russian)
29. Trub I.I. *Object-Oriented Modeling in C ++*. St. Petersburg, Piter Publ., 2006, 416 p. (In Russian)
30. Kolesov Yu.B., Senichenkov Yu.B. *Systems Modeling. Object-Oriented Approach*. St. Petersburg, BHV-Peterburg, 2012, 185 p. (In Russian)
31. D'yakonov V.P. *MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 in Mathematics and Modeling. Basics of Application. Complete User's Guide*. Moscow, SOLON-Press Publ., 2003, 576 p. (In Russian)
32. Jeandel A., Boudaud F. Physical system modelling languages: from ALLAN to Modelica. *Building Simulation'97, IBPSA Conference*. Prague, 1997.
33. Karpov Yu.G. *Simulation of Systems. Introduction to Modeling in AnyLogic 5*. St. Petersburg, BHV-Peterburg, 2005, 403 p. (In Russian)
34. Mikushev V.M., Chaikovskaya O.M., Chirtsov A.S. *Using Physical Object-Oriented Modeling in the MEP for Fechanics*. Tomsk, NTL Pub., 2015, 36 p. (In Russian)
35. Chirtsov A.S. *Physical Object-Oriented Modeling in Mechanics Courses*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015, 148 p. (In Russian)
36. Moklev V.V., Chirtsov A.S. The use of computer simulation of physical systems for the organization of independent research work of junior students. *Sovremennoe Obrazovanie: Soderzhanie, Tekhnologii, Kachestvo*, 2014, vol. 1, pp. 153–154. (In Russian)
37. Abutin M.V., Kolin'ko K.P., Chirtsov A.S. Computer series "Physics: models, experiments, nature". Gravity for students. *Computer Tools in Education Journal*, 2004, no. 6, pp. 3–16. (In Russian)
38. Abutin M.V., Kolinko K.P., Nikolskiy D.J., Chirtsov A.S. Computer series "Physics: models, experiments, nature". Usage of multimedia and Internet technologies for support teaching in electrodynamics. *Vestnik of St. Petersburg State University*, 2005, no. 2, pp. 104–110. (In Russian)
39. Chirtsov A.S. *Concepts of Modern Natural Sciences*. St. Petersburg, Bel'veder Publ., 2002, 280 p. (In Russian)
40. Chirtsov A.S. *Gravity: Development of Opinions from Newton to Einstein*. 2016. Available at: <https://www.youtube.com/channel/UCnJpbR9H110msdbkwhyokWQ> (accessed 15.02.17).
41. Sychov S.V., Chirtsov A.S. Automation of creation of educational content for a courses of physics and chemistry for mass individualised education. *Science and Society*, 2016, no. 2, pp. 34–47. (In Russian)
42. Bobovich A.V., Kosmaev V.M., Chirtsov A.S. Integration of information technologies in education. *Komp'yuternye Uchebnye Programmy i Innovatsii*, 2001, no. 3, pp. 39–56. (In Russian)
43. Chirtsov A.S., Abutin M.V., Marek V.P., Mikushev S.V. New uses of information and multimedia technologies for realizing continuous higher education. *Fizicheskoe Obrazovanie v Vuzakh*, 2012, vol. 18, no. 1, pp. 109–125. (In Russian)
44. Kurashova S.A., Chirtsov A.S., Kolchanov A.A. et. al. Organization of intensive training in physics on Bachelor level of ITMO University for research-oriented Master programs in the Project "5-100". *Sovremennoe Obrazovanie: Soderzhanie, Tekhnologii, Kachestvo*, 2016, vol. 1, pp. 161–163. (In Russian)
45. Trifonov A.V., Kurashova S.A., Chirtsov A.S. Research of features the movement of classical and relativistic particles in electromagnetic fields. *Sovremennoe Obrazovanie: Soderzhanie, Tekhnologii, Kachestvo*, 2016, vol. 1, pp. 57–59. (In Russian)
46. Chirtsov A.S., Panin M.I. Analysis of the possibilities of numerical simulations of random processes in nonlocal plasma simulation. *Proc. Conf. on Innovative Realization in Natural and Mathematical Sciences*. Moscow, 2017, vol. 1, pp. 56–64. (In Russian)
47. Chirtsov A.S., Mikushev V.M., Lebedeva E.V., Sychov S.V. Numerical simulation of glow discharge in air mixtures under low pressure conditions. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no. 24, pp. 11836–11846.

Авторы

Чирцов Александр Сергеевич – доктор технических наук, доцент, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация; доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация, alex_chirtsov@mail.ru

Никольский Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, профессор-ассистент по исследованиям, Университет Аляски, Фэйрбанк, Фэйрбанк, 99775, США, djnicolsky@alaska.edu

Брильянтов Вадим Александрович – студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, v.brilyantov@yandex.ru

Ванькович Иван Вячеславович – студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ivan.vankovich98@gmail.com

Authors

Alexander S. Chirtsov – D.Sc., Associate Professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; Associate professor, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation, alex_chirtsov@mail.ru

Dmitry J. Nicolsky – PhD, Research Assistant Professor, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, 99775, USA, djnicolsky@alaska.edu

Vadim A. Brilyantov – student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, v.brilyantov@yandex.ru

Ivan V. Vankovich – student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ivan.vankovich98@gmail.com



Александр Сергеевич Чирцов окончил с красным дипломом в 1982 г. физической факультет Ленинградского государственного университета. Прошел путь научно-педагогического работника от старшего лаборанта до декана физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Имеет ученую степень кандидата физико-математических наук за работы по изучению столкновительных переходов между различающимися по спину высоковозбужденными атомными уровнями. В 1990 г. был приглашен для чтения курса физики в Университет ИТМО в рамках проекта создания групп усиленной интенсивной подготовки одаренной молодежи Санкт-Петербурга по математике, физике и Computer science. С этого времени наряду с изучением элементарных и коллективных процессов в нелокальной плазме занимается проблемой использования компьютерного моделирования физических процессов для сопровождения преподавания углубленных курсов физики с использованием активных форм обучения, включающих элементы научного исследования. Доктор технических наук, автор более 250 научных работ и учебных пособий, четырех on-line курсов, член Президиума Федерального учебно-методического объединения «Физика и астрономия» классических университетов.

Alexander S. Chirtsov graduated from the Physics Department of Leningrad State University with honors in 1982. He has passed scientific and pedagogical path from senior laboratory assistant to the dean of the Faculty of Physics, St. Petersburg State University. He holds a PhD in Physical and Mathematical Sciences for his work on the study of collisional transitions between highly excited atomic levels with different spins. In 1990 he was invited to read the course of physics in ITMO University in the framework of the project on groups creation for intensive training of the talented youth of St. Petersburg in Mathematics, Physics and Computer science. Since that time, along with the study of elementary and collective processes in the non-local plasma, he is engaged in the use of computer modeling of physical processes to support in-depth teaching of physics with active forms of learning, including the elements of scientific research. He is a Doctor of Technical Sciences, the author of over 250 scientific papers and manuals, including four on-line courses, a member of the Presidium of the Federal Teaching Union "Physics and Astronomy" for classical universities.



Дмитрий Юрьевич Никольский начал заниматься численным моделированием физических процессов еще во время обучения в физико-математическом лицее № 30 (Санкт-Петербург, Россия). За год до окончания он принял участие в разработке первой версии электронного конструктора физических систем, включая релятивистские частицы, и, еще будучи школьником опубликовал ряд печатных работ. Обучался на физическом факультете Санкт-Петербургского университета. В 2000 г. получил степень бакалавра по направлению «Физика». Тема работы – разработка автоматического генератора визуализаторов конфигураций электромагнитных полей от произвольно задаваемых конфигураций зарядов и токов. После этого с 2000 до 2003 гг. получал степень магистра по математике в университете Аляски, в университете города Фэйрбанк. Магистерская диссертация была посвящена анализу временных рядов и поиску гармоник в рядах с шумами. В 2007 г. получил степень PhD в области физики с уклоном по Geophysics. Диссертация была посвящена моделированию термовлагопереноса и расчету смещения грунтов. Решал обратные задачи по определению коэффициентов в уравнение теплопроводности по данным измерения температуры в некоторых местах. Далее с 2008 г. до 2013 г. работал научным сотрудником в Сейсмологическом центре Аляски, потом, с 2013 г., профессором ассистент-исследователем. Занимается численным моделированием генерации и наката волн цунами на берег, а также моделированием различных физических процессов в средах с фазовыми переходами на основе неустойчивой термодинамики

Dmitry J. Nicolsky started his work in numerical modeling of physical processes during his training in Physics and Mathematics Lyceum No. 30 (St. Petersburg, Russia). A year before graduation, he joined the team that was developing electronic models of physical systems, created a trial version of Java - simulation of particle systems in external electromagnetic fields, and has developed a hierarchy of objects, allowing for the inclusion of relativistic effects. While attending school, he made a number of presentations at international conferences, has published a series of articles based on the results of his work. He successfully studied at the Physics Department of St. Petersburg University. In 2000 he received a bachelor's degree in Physics. The theme of his work was the development of an automatic generator of visualizations of

configurations of electromagnetic fields from the freely definable systems of charges and currents. From 2000 to 2003 he worked on his master's degree in the field of Mathematics at the University of Alaska Fairbanks. His master's thesis was devoted to the time series analysis and search of the harmonic components in the noisy series. In 2007 he received his PhD in Numerical Modeling of Natural Systems in Physics with an emphasis on Geophysics. The thesis was devoted to numerical modeling of water temperature and dynamics of the ground materials freezing. Then from 2008 to 2013 he was working as a researcher in Alaska Earthquake Center; from 2013 he is a Research Assistant Professor. Currently he is engaged in the generation of numerical models and forecasts of tsunami propagation and its run-up to the coast. He is also interested in modeling of various physical processes in the freezing and thawing of the ground material with the use of non-equilibrium thermodynamics.



Иван Вячеславович Ванькович, студент 1 курса бакалавриата Университета ИТМО. Закончил физико-математический класс Лицея Белорусского государственного университета (Республика Беларусь, г. Минск) со средним баллом 9,3 (в 10-балльной шкале). Во время учебы участвовал в олимпиадах по информатике, что позволило набрать высокий рейтинговый балл при поступлении в Университет ИТМО и обучаться в учебной группе углубленной и интенсивной подготовки кафедры информатики и прикладной математики факультета программной инженерии и компьютерной техники. В ходе изучения углубленного курса физики участвовал в выполнении индивидуальных творческих заданий, включающих элементы научного исследования, и на заключительной конференции вошел в число победителей, представив работу по моделированию процессов диффузии с использованием численных и аналитических методов. Работа представляет несомненный интерес для развития средств автоматизации разработки электронного учебного контента. Победитель Республиканской олимпиады школьников по программированию (Республика Беларусь).

Ivan V. Vankovich is the 1st year student of ITMO University bachelor degree course. He graduated from the Physics and Mathematics class of the Lyceum of Belarusian State University (Belarus, Minsk) with a rating of 9.3 (10-point scale). During his studies, he participated in the Olympiad in Informatics that made it possible to dial a high rating point when entering ITMO University and get the position in the training group in-depth and intensive training of the Department of Informatics and Applied Mathematics at the Faculty of Software Engineering and Computer Technology. During the study of Physics course given by Professor Chirtsov, he participated in the implementation of individual creative tasks with elements of scientific research, and at the final conference he presented the work on diffusion processes modeling by numerical and analytical techniques. That enabled him to become one of the winners. The work is of great interest for the creation of automation equipment for e-learning content development. He is the winner of the Republican Olympiad on programming (Republic of Belarus).



Вадим Александрович Брильянтов закончил Президентский Физико-математический лицей № 239 Санкт-Петербурга, где учился, начиная с 9 класса, мечтая стать программистом и поступить в Университет ИТМО. Участвовал в олимпиадах по программированию и математике. В 10 классе стал призером региона, а после этого поехал в летнюю компьютерную школу (ЛКШ) – самую известную школу в России, готовящую к олимпиадам по программированию. В 11 классе стал победителем региона по программированию, прошел на заключительный этап Всероссийской олимпиады, но недобрал 5 баллов из 800 до призера. Также выиграл олимпиады 1 уровня по программированию, «Высшая проба» (по математике) и др. С дипломами этих олимпиад поступил в Университет ИТМО на известную во всем мире своими достижениями в IT кафедру компьютерных технологий, основанную В.Г. Парфеновым. Летом после 11 класса участвовал в ЛКШ, уже в качестве преподавателя. В ходе изучения углубленного курса физики выполнял индивидуальные творческие задания, включающие элементы научного исследования, и на заключительной конференции вошел в число победителей, представив работу по моделированию процессов диффузии с использованием численных и аналитических методов. Работа представляет несомненный интерес для развития средств автоматизации разработки электронного учебного контента. Планирует заниматься машинным обучением и параллельными вычислениями.

ванию процессов диффузии с использованием численных и аналитических методов. Работа представляет несомненный интерес для развития средств автоматизации разработки электронного учебного контента. Планирует заниматься машинным обучением и параллельными вычислениями.

Vadim A. Brilliantov graduated from the Presidential Physical and Mathematical Lyceum No. 239 in St. Petersburg, where he studied, starting from the 9th grade, dreaming of becoming a programmer and entering ITMO University. He took part in intellectual competitions in programming and mathematics. In the 10th grade he was the winner in the region, and after the 10th year went to summer computer school. The latter is the most famous school in Russia preparing for intelligent programming competitions. In the 11th grade he became the winner of the programming in the region, took part in the final stage of the All-Russian Olympiad, but the result fell 5 points from the 800 to the prize-winner. He also won the Olympiad Level 1: Programming, "High Grade" (Math), and others. Having the diplomas of contests he entered ITMO University, the Department of Computer Technology founded by Parfenov and known worldwide for its achievements in the IT. In summer after the 11th grade he went back to summer computer school but as a teacher. During the study of intensive Physics course given by Professor Chirtsov he participated in the performance of individual creative tasks with elements of scientific research. At the final conference he was among the winners and presented the work on modeling of diffusion processes by numerical and analytical methods. The work is of great interest for the development of automation equipment for e-learning content. He plans to be engaged in machine learning and parallel computing.