

**ВВЕДЕНИЕ В ПРАКТИКУМ ПО  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКЕ.  
ИНТЕРПОЛЯЦИЯ И АППРОКСИМАЦИЯ.  
РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ  
УРАВНЕНИЙ И ИХ СИСТЕМ.  
ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ  
И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ  
(учебное пособие)**

Ревинская О.Г.

*Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, Томск,  
e-mail: ogr@tpu.ru*

Математическое моделирование различных процессов и явлений давно зарекомендовало себя как один из фундаментальных методов познания в физике. Математические задачи, возникающие при построении моделей физических явлений и объектов, не всегда имеют аналитическое решение, как в научных исследованиях, так и в учебном процессе. Поэтому важно уже с первых лет обучения студентов в вузе познакомить их с возможностями численного решения определенных математических задач – дать им в руки инструмент научного поиска. Обучение методам вычислительной математики (численным методам) происходит на 1-2 курсах, чтобы к началу научно-исследовательской деятельности они имели представления об особенностях и возможностях использования этих методов. Это накладывает определенные ограничения на методику преподавания этой учебной дисциплины, и на используемые в обучении учебные пособия. Конечные формулы, позволяющие проводить численные расчеты, для большинства методов имеют достаточно простой вид, чтобы с ними могли работать студенты младших курсов. Однако методология и технический вывод этих формул порой достаточно сложен, поэтому в пособиях некоторые методы излагаются без вывода. Это затрудняет изучение границ и особенностей применения данных методов. Поэтому, несмотря на то, что уже издано много литературы по вычислительной математике, практикующие преподаватели продолжают поиск лучших методов изложения данной учебной дисциплины.

Учебное пособие «Введение в практикум по вычислительной математике» является результатом обобщения автором своего 20-летнего опыта преподавания численных методов на физическом факультете Томского государственного университета.

Учебное пособие содержит описание численных методов (методов вычислительной математики) по следующим разделам: интерполяция и аппроксимация; решение нелинейных уравнений и их систем; численное интегрирование и дифференцирование. Материал каждого раздела начинается с актуализации основных понятий и терминов, необходимых для понимания изло-

женного материала. В пособии изложены основные подходы и принципы, на которых базируются различные методы, обсуждаются условия, при которых с помощью описанных методов можно получить точное решение задачи, а также область применимости различных методов. Теоретическое обсуждение методов завершается заданиями для практической реализации их на компьютере. В конце пособия приведены контрольные вопросы, на основе которых можно проводить теоретический зачет.

Материал, изложенный в пособии, направлен на формирование базовых представлений студентов-физиков о принципах численного решения задач различного рода, овладения основными терминами и методами вычислительной математики. Рассмотрены различные классы полиномов как базовая основа для построения численных методов, а также влияние свойств полиномов на особенности полученных на их основе методов. Содержание и изложение материала, а также структура практических заданий полностью соответствует требованиям ФГОС по специальности «Физика».

В каждом разделе изложение теоретического материала начинается с описания методов, считающихся наиболее часто используемыми на практике, описание которых можно найти во всех учебниках по данной дисциплине (например, интерполяция Лагранжа, метод дихотомии, методы Ньютона-Котеса). Далее в пособии приведены методы, которые изложены в основном в специальных математических справочниках и энциклопедиях (например, интерполяция Стеффенсена, квадратурные формулы Радо, Лобатто, Эрмита). Их описание позволяет рассмотреть численное решение каждой из рассматриваемых задач более всесторонне, показать направления развития данной области науки. Разнообразие методов, изложенных в пособии, позволяет преподавателю обсудить причины неточности результатов, получаемых различными методами, и показать, как они преодолеваются в других методах. Материал хорошо систематизирован и опирается на знания, полученные студентами в курсе математического анализа на первом курсе.

Для практического применения изученных методов подобрано большое количество примеров, каждый из которых можно решать разными методами, сравнивая при этом и скорость получения результата, и его точность. В рамках практического программирования это позволяет также отслеживать приемы программной реализации различных методов. Практические задания позволяют освоить методику отладки самостоятельных программных реализаций численных методов, базирующееся на подборе определенных тестовых примеров, имеющих аналитическое решение, и оценки с их помощью корректности применения различных численных методов. На начальном этапе эти примеры

включены в задания (подобраны преподавателем). В дальнейшем, когда у студентов уже появляется определенный опыт, им рекомендуется подбирать тестовые примеры самостоятельно.

Практическая возможность решения различных задач, для которых трудно или практически невозможно предложить аналитическое решение, подчеркивает научную значимость численных расчетов и особенности полученных с их помощью результатов, раскрывает перед студентами младших курсов методологическую важность математического моделирования в физике. Данное пособие закладывает основу для дальнейшего изучения методов математического моделирования и применения в них численного решения задач, которые развивается и закрепляется на старших курсах и в научно-исследовательской работе студентов.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ (монография)**

Сокуров В.Ф.

*Таганрогский государственный  
педагогический институт, Таганрог,  
e-mail: cosmicrays2008@yandex.ru*

В настоящее время существуют определенные трудности в изучении космических частиц сверхвысоких энергий. В частности, не решена проблема первичного энергетического спектра в диапазоне высоких и сверхвысоких энергий. Поэтому, весьма актуальным следует признать цикл работ автора по новым методам исследования характеристик потока космических лучей.

В монографии рассмотрены радиационные процессы, возникающие при прохождении электромагнитных лавин, развивающихся при взаимодействии частиц сверхвысоких энергий с атмосферой Земли.

Наиболее прямым методом исследования энергетического спектра космических лучей сверхвысоких энергий является метод регистрации по потоку излучения Вавилова – Черенкова, генерируемого развивающейся релятивистской электромагнитной лавиной от первичных частиц.

В.Ф. Сокуровым создан и внедрен в эксплуатацию высокочувствительный детектор черенковского излучения в атмосфере (большой оптический детектор – БОД). Детектор сконструирован на основе синтеза апертур 63-х фотоумножителей типа ФЭУ-110 с применением разработанного автором линейного пропускателя. Это позволило увеличить чувствительность детектора по сравнению с детекторами, установленными на установке ШАЛ (г. Якутск), на два порядка.

Детектор работал в комплексе с Якутской установкой ШАЛ и подобной установкой в Самаркандском университете (Узбекистан). Этот

детектор позволяет исследовать плотность потока излучения Вавилова-Черенкова в диапазоне  $2 - 1480$  фотон/см<sup>2</sup>эВ с изломом в области  $60-100$  фотон/см<sup>2</sup>эВ.

Корректные выводы о величине потока черенковского излучения ШАЛ возможны только при наличии контроля прозрачности атмосферы в течение всего периода регистрации. Этот контроль дает возможность корректировать полный поток черенковского излучения ШАЛ и, следовательно, первичный энергетический спектр в интервале  $10^{15}-10^{20}$  эВ.

На основе адекватных измерений В.Ф. Сокуровым разработан новый метод исследования и оперативного контроля прозрачности атмосферы. Этот метод основан на флуктуациях потока черенковских вспышек в атмосфере. С его помощью исследована средняя прозрачность атмосферы над Якутской установкой ШАЛ и над Самаркандской установкой (Узбекистан). Кроме того, осуществляется оперативный контроль прозрачности в пятнадцатиминутные временные интервалы.

С помощью большого оптического детектора впервые по интегральному потоку черенковского излучения измерен энергетический спектр космических лучей в диапазоне  $10^{15}-10^{17}$  эВ. При этом зарегистрирован излом в спектре в области  $(3-5) \cdot 10^{15}$  эВ.

В настоящее время все большее внимание исследователей привлекает очень низкочастотный диапазон радиоизлучения (ОНЧ электромагнитные колебания в диапазоне единиц килогерц). Это связано с тем, что комплекс Земля-ионосфера представляет из себя прекрасный сферический волновод, в котором с очень малым затуханием распространяются КНЧ-ОНЧ радиоволны. Следовательно, их можно принять на очень больших расстояниях от источника излучения.

В настоящей работе при непосредственном участии В.Ф. Сокурова измерен поток очень низкочастотных (ОНЧ) импульсов в приземном слое и им разработана методика обработки данных, позволяющая идентифицировать по потоку ОНЧ излучения энергетический спектр в диапазоне  $10^{18}-10^{19}$  эВ;

Показана возможность измерения энергетического спектра космических лучей предельно высоких энергий достаточно простым и надежным способом.

При этом площадью регистрации детектора ШАЛ становится вся поверхность Земли.

Автором разработан метод исследования энергетического спектра предельно высоких энергий по потоку ионизационного излучения в атмосфере Земли на базе линзы Френеля диаметром 5 м. В фокальной плоскости линзы устанавливается 128 фотоумножителей, каждый из которых контролирует локальный участок пространства. Зенитный и азимутальный углы