

ПРЕПОДАВАНИЕ АСТРОНОМИИ В СОВРЕМЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

М.Ю. Королев, Е.Б. Петрова, Г.М. Чулкова

Аннотация. В статье сделан краткий обзор вопросов, которые, по мнению авторов, следует преподавать студентам. Критериями отбора этого материала послужили, прежде всего, сформулированные учеными проблемы астрономии начала XXI века. Кроме того, обсуждены практические приложения современной астрономии, которые играют существенную роль во многих сферах жизни общества. Практически все крупные астрономические инструменты и центры создают свои базы данных. В процессе обучения современной астрономии необходимо знакомить студентов с принципами и методиками работы с современными астрономическими базами данных. Это позволит приобщить обучающихся к настоящим научным исследованиям. Такая работа может послужить основой для качественных проектных и курсовых работ. Кроме работы с удаленными источниками большое значение для процесса знакомства с проблемами астрономии имеют получаемые в процессе обучения навыки компьютерного моделирования. Примером лабораторной работы, доступной для выполнения студентами, является работа с программой трехмерного электромагнитного моделирования HFSS (High Frequency Structure Simulator) для проектирования СВЧ структур, используемых в качестве детекторов современных телескопов.

Ключевые слова: астрономия, методика обучения астрономии, педагогическое образование, современная образовательная среда.

Для цитирования: Королев М.Ю., Петрова Е.Б., Чулкова Г.М. Преподавание астрономии в современной образовательной среде // Преподаватель XXI век. 2023. № 1. Часть 1. С. 71–83. DOI: 10.31862/2073-9613-2023-1-71-83

TEACHING ASTRONOMY IN A MODERN EDUCATIONAL ENVIRONMENT

M.Yu. Korolev, E.B. Petrova, G.M. Chulkova

Abstract. The article provides a brief overview of the issues that, in the opinion of the authors, should be taught to students. The criteria for selecting this material were, first of all, the problems of astronomy formulated by scientists at the beginning of the twenty-first century. In addition, the practical applications of modern astronomy, which play a significant role in many areas of society, are discussed. Virtually all major astronomical instruments and centers create their own databases. In the process of teaching modern astronomy it is necessary to introduce students to the principles and methods of working with modern astronomical databases. This will introduce students to real scientific research. Such work can serve as a basis for quality project and term papers. In addition to the work with remote sources, the computer modeling skills

© Королев М.Ю., Петрова Е.Б., Чулкова Г.М., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

obtained in the process of training are of great importance for the process of introduction to the problems of astronomy. An example of laboratory work available to students is the work with the three-dimensional electromagnetic modeling program for the design of UHF structures HFSS (High Frequency Structure Simulator), used as detectors of modern telescopes.

Keywords: *astronomy, methods of teaching astronomy, pedagogical education, modern educational environment.*

Cite as: Korolev M.Yu., Petrova E.B., Chulkova G.M. Teaching Astronomy in a Modern Educational Environment. *Prepodavatel XXI vek*. Russian Journal of Education, 2023, No. 1, part 1, pp. 71–83. DOI: 10.31862/2073-9613-2023-1-71-83

Введение

Интерес к секретам космоса у человечества был практически всегда. С древних времен известны простые астрономические инструменты, которые позволяли определять положение светил на небосводе. Этот интерес был обусловлен не только любопытством, а имел практические основания. Астрономические знания позволяли человеку ориентироваться в пространстве и времени, развивать мореходство, помогали в земледелии и др.

С развитием техники и приборостроения люди смогли получать большее количество информации о космосе. Новые возможности во многом оказались связанными с регистрацией излучений в различных диапазонах. Постепенно интерес к космосу переместился из практической плоскости в сферу удовлетворения чисто научного интереса, человечество приблизилось к разгадке тайн мироздания. Мечты ученых и писателей-фантастов в начале прошлого века были связаны не только с созерцанием светил, но и с перемещением человека на различные планеты и звезды, т. к. они не представляли его существование отдельно от космоса. По их мнению, это было единое целое. Но для таких перемещений не хватало специальной техники и информации. Теперь же некоторые из этих идей реализованы.

Краткий обзор проблем современной астрономии

Информации о Вселенной, которую можно было получить, находясь на Земле, теперь явно недостаточно, и астрономические инструменты перемещаются в космос [1]. Более того, некоторые из них отправляются на другие планеты. Используя современные приборы, ученые получают из космоса такое количество информации, которое даже не всегда могут обработать. Произошел переход от дефицита научных данных к их избытку. Современные телескопы и дополняющие их датчики позволяют получать петабайты данных в секунду. Появился даже специальный термин, определяющий проблему, возникшую и в других научных областях: проблема больших данных (“big data”). Поэтому разрабатываются специальные методики их обработки, которые невозможно развивать без прогресса в компьютерных науках. Примером интеграции астрономии и компьютерных наук является телескоп ALMA, который будет получать примерно 700 Тбайт данных ежесуточно.

В настоящее время мы видим как велико значение астрономических знаний для развития космической отрасли и отраслей экономики, связанных с растущим практическим освоением околоземного пространства, развития фундаментальной и

прикладной науки, космической техники, космических информационных технологий в целях научно-технического и экономического прогресса. Современная астрономия стала прикладной дисциплиной, практические приложения которой играют существенную роль во многих сферах жизни общества. Астрономические знания используются в техносфере современной цивилизации, реализуясь в спутниковых системах связи, позиционирования и навигации, мониторинга природных ресурсов и климатических изменений. Таким образом, накоплено огромное количество научных фактов о Земле и Космосе.

Астрономия, как известно, всегда была той естественнонаучной дисциплиной, которая была интересна учащимся школы и студентам, а главное, формировала у них адекватную естественнонаучную картину мира. К сожалению, в настоящее время так же, как и в недавнем прошлом, она исключена из списка обязательных предметов для изучения. Поэтому удовлетворить свой интерес к астрономии люди могут, посещая многочисленные популярные лектории. Ученые, которые посвятили этой науке свою жизнь, не могут оставаться в стороне от просветительской работы и также принимают активное участие в популяризации астрономических знаний. Однако в процессе этой деятельности лекторы задаются вопросом: с какими именно научными фактами следует знакомить современных студентов и школьников в условиях сложившейся образовательной среды? [2].

Вот примерный перечень привлекательных для молодого поколения проблем. Это важнейшие и интереснейшие открытия, которые делаются в астрономии в последние годы и десятилетия. На наш взгляд, именно они должны освещаться в процессе преподавания астрономии. Сюда относятся, например:

- обнаружение ускоренного расширения Вселенной [3];
- изучение реликтового излучения, открытие анизотропии реликтового излучения;
- определение состава Вселенной, исследование темной материи и темной энергии как важнейших составляющих Вселенной [4];
- обнаружение и исследование нейтронных звезд разных типов, черных дыр звездных масс и сверхмассивных черных дыр, наблюдение горизонта событий черной дыры [5];
- обнаружение гравитационных волн, которые возникают в процессе слияния двух черных дыр или двух нейтронных звезд [6];
- открытие и исследования экзопланет, поиск планет, похожих на нашу Землю [7];
- обнаружение следов органической жизни в космосе, появление новых направлений исследования Вселенной, таких как астробиология, космическая экология и др.

Что нужно преподавать студентам?

Во все времена астрономия играла важнейшую роль в развитии представлений о строении окружающего нас мира, в создании единой естественнонаучной картины мира. Представления человечества о Вселенной несколько раз кардинально менялись по мере увеличения объема наших знаний. Первоначально это была геоцентрическая картина мира, затем гелиоцентрическая картина мира, представления о множественности миров, о звездах и галактиках, и наконец, о Вселенной в целом и ее эволюции.

Именно поэтому, на наш взгляд, при обучении студентов астрономии нужно делать акцент, прежде всего, на формировании у них единых представлений об

устройстве Вселенной, ее эволюции, а также о современных методах исследования Вселенной и последних астрономических открытиях, сделанных учеными. Учащиеся должны понимать, что Вселенная устроена иерархично и представляет собой сложную взаимодействующую и эволюционирующую систему различных небесных тел. Структурными элементами Вселенной являются планеты и планетные системы, звезды и галактики, скопления галактик и сверхскопления [8]. В свою очередь, сверхскопления галактик образуют крупномасштабную структуру Вселенной.

Важнейшее мировоззренческое значение для обучающихся имеют знания об эволюции Вселенной. Студентам необходимо разъяснить на доступном уровне следующие вопросы:

- как возникла наша Вселенная, через какие этапы эволюции она проходила;
- как возникли галактики и звезды, как они эволюционируют, какие объекты являются конечными стадиями эволюции звезд;
- как образовались Солнце и Солнечная система, как сформировались планеты и, в частности, наша Земля.

Следующий важнейший аспект, который должен быть раскрыт перед студентами — это фундаментальный вопрос о том, как ученые получают сведения о Вселенной и основных астрономических объектах. Речь идет о современных методах и технологиях изучения мегамира. Основной тезис, который должен сформироваться у обучающихся — это представление о многоканальности современной астрономии. Это означает, что в настоящее время ученые исследуют Вселенную во всех диапазонах электромагнитных волн: видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом, рентгеновском, гамма-диапазоне, микроволновом и радио-

диапазоне, причем эти исследования ведутся как с поверхности Земли, так и с помощью космических телескопов. В последние годы были обнаружены гравитационные волны, зарегистрированы космические нейтрино сверхвысоких энергий [9], изучены потоки других космических частиц, попадающих на Землю. Таким образом, астрономы получили новые «инструменты» для исследования Вселенной и процессов, происходящих в ней. Следовательно, становится возможным более полное понимание устройства Вселенной. И эта информация должна быть донесена до студентов.

Особенности преподавания астрономии в настоящее время

Изучение всех перечисленных выше вопросов позволит сделать астрономию привлекательным учебным предметом, будет способствовать развитию интереса у обучающихся к получению новых знаний, возможному выбору будущей профессии и т. д. Без новых подходов к формированию кадров невозможно и успешное освоение космоса. Специалисты новой формации должны быть готовы к реализации научных идей, созданию современной ракетной техники и космических кораблей, а также научиться управлять ими [10]. Для создания фундамента освоения космического пространства необходимо пересмотреть подходы к подготовке квалифицированных кадров. Потребности, связанные с освоением космоса, определяют содержание и компетенции, которые будут осваиваться будущими специалистами в образовательном учреждении. Этими специалистами являются космонавты, ученые, конструкторы, ракетчики, инженеры-микроэлектронщики, рабочие инновационных специальностей, связанных с робототехникой и космическими технологиями, композитным

материаловедением, управленцы, связанные с экономико-математическими методами, программированием, моделированием. Растут требования и к предпрофильному образованию, т. к. перечисленные выше кадры должны начинать профессиональное самоопределение еще в системе общего образования.

Перечисленные выше проблемы подготовки кадров связаны с появлением новых астрономических дисциплин, таких, например, как астроинформатика.

К примеру, один из специалистов Государственного астрономического института им. Штернберга О.С. Бартунов считает, что необходимо изменить парадигму астрономического образования, которая должна ориентироваться в том числе и на обучение студентов основам астроинформатики. По мнению О.С. Бартунова, будущих астрономов необходимо учить «методологическим основам работы с данными в новых условиях всемирной сети астрономических архивов, организованных в единых стандартах, которые предоставляют доступ ко всем наблюдениям, практически неограниченным компьютерным ресурсам для обработки и анализа данных» [11, с. 27]. Новое поколение астрономов должно уметь работать с базами данных: описывать, хранить и обрабатывать данные, представлять себе принципы организации доступа к ним, визуализировать данные, быть знакомыми со статистическими методами их анализа и т. д. Особую ценность представляет собой умение ученого нового поколения проводить анализ больших баз данных, в том числе с целью обнаружения в так называемых «сырых данных», ранее неизвестных, практически полезных и доступных для интерпретации знаний [12]. Конечно, освоение работы с базами данных в основном касается ученых-астрономов, но хотя бы в ознакомительном

плане этот навык был бы небесполезен и для преподавателей этой дисциплины, поскольку работа с базами данных позволяет приобщить учащихся и студентов, интересующихся наукой, к настоящим научным исследованиям. Такая работа может послужить основой для качественных проектных и курсовых работ.

В настоящее время практически все крупные астрономические инструменты и центры создают свои базы данных. Эти базы рассредоточены, поэтому требуется специальная квалификация, чтобы получить необходимые данные: грамотно сформулировать запрос, определить те базы, информация из которых необходима и т. п. Для этого студентов в процессе обучения необходимо знакомить с принципами и методиками работы с современными астрономическими базами данных [13–18].

Большинство астрономических объектов, явлений и процессов происходят очень далеко от Земли. Следовательно, их изучение обычными экспериментальными методами часто затруднено, поэтому обучающиеся должны уметь применять метод моделирования и мысленные эксперименты для исследования тех или иных астрофизических объектов и процессов в особых пространственно-временных масштабах.

Видимо, для определения круга важных для изучения студентами вопросов необходимо опираться на мнение академика Н.С. Кардашева [19], который перечислил основные проблемы астрофизики с точки зрения науки начала XXI века. К такому ученому отнес следующие:

- поиск внеземных цивилизаций;
- определение роли антропного принципа и возможности существования параллельных вселенных;
- исследование дополнительных пространственных измерений, топологической

структуры Вселенной, возможности существования кротовых нор;

- изучение этапов эволюции Вселенной и ее различных космологических моделей;
- исследование темной материи и темной энергии;
- определение причин Большого взрыва;
- изучение сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик;
- возможность открытия преонных и кварковых звезд, а также причин возникновения гамма-всплесков;
- исследование экзопланет, планетных систем и возможности жизни на них;
- обнаружение реликтовых гравитационных волн, реликтовых нейтрино и исследование высокоэнергетичных космических лучей.

Внедрение современных средств исследования в учебный процесс

Радиоастрономия имеет ресурсы для решения перечисленных выше проблем, основным из которых является теория распространения и генерации радиоволн в космическом пространстве. Радиоастрономия позволит достичь значительных успехов как в решении фундаментальных вопросов теории распространения и возникновения радиоизлучения во Вселенной, так и создать систему мощных радиотелескопов с бóльшей чувствительностью и бóльшим угловым разрешением.

Важным фактом является то, что максимум в спектре реликтового излучения Вселенной совпадает с абсолютным максимумом интенсивности излучения электромагнитных волн, который практически расположен в радиодиапазоне. Ученые имеют технические возможности для создания телескопов, которые обозревают все небо и поэтому регистрируют

все явления происходящие там, включая кратковременные. Космические телескопы имеют преимущества перед наземными телескопами в том, что, во-первых, отсутствуют радиопомехи, во-вторых, наблюдениям не будет мешать земная атмосфера. В результате ученые смогут исследовать Вселенную в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах.

В настоящее время наиболее крупными радиоастрономическими проектами являются интерферометры Земля — Космос: «Радиоастрон» (сантиметровый и дециметровый диапазон) [20] и новый проект «Миллиметрон» («Спектр-М») [21]. «Спектр-М» представляет собой охлаждаемое до температуры жидкого гелия зеркало диаметром 10 метров. Этот телескоп будет работать в терагерцовом диапазоне волн (от 1 до 10 ТГц). Космическая обсерватория работает не только в режиме одиночного телескопа, но и образует интерферометр со всеми наиболее крупными наземными телескопами (база Земля — Космос). Исследования, которые будет проводить «Миллиметрон», дадут новую информацию о крупномасштабной структуре Вселенной, позволят получить более точные сведения о возникновении, строении и эволюции галактик и звезд, структуре ядер галактик, особенностях и свойствах черных дыр и кротовых нор, обнаружить в космосе органические соединения, а также изучить объекты со сверхсильными электромагнитными и гравитационными полями. Запуск планируется после 2025 года [22]. Вид антенны телескопа «Миллиметрон» показан на рис. 1.

Одной из основных и, по сути, прорывной задачей «Миллиметрона» в режиме одиночного зеркала станет обнаружение искажений в спектре реликтового излучения. Для этого необходима максимально высокая чувствительность болометрических

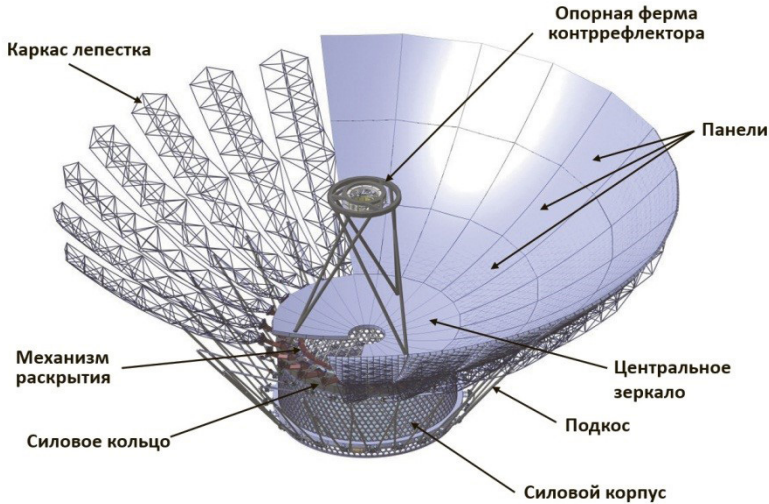


Рис. 1. Вид антенны телескопа «Миллиметрон»

матричных приемников, добиться которой можно, охладив их как можно сильнее (температуру поверхности антенны — до 20 К, а приемной аппаратуры — до 4 К).

Искажения реликтового фона содержат уникальную и пока недоступную информацию о физике ранней Вселенной. Обнаружение и исследование их углового распределения на небе откроет для ученых совершенно новый канал информации. В настоящее время это вызывает огромный интерес всего мирового научного сообщества, не меньший, чем исследование «теней черных дыр» и кротовых нор.

Режим интерферометра позволяет получить гигантское угловое разрешение. Оно нужно для наблюдения удаленных от нас объектов, имеющих крайне малый угловой размер. Пока подобные наблюдения не были доступны ученым. Если будет достигнута необходимая чувствительность и разрешение, то наблюдения галактик можно будет проводить с большей эффективностью, чем позволяет Телескоп горизонта событий (Event Horizon Telescope) [22].

В качестве чувствительного элемента в спектрометрах, которые будут работать на телескопе «Миллиметрон», применяются детекторы субмиллиметрового диапазона (от 20 мкм до 17 мм). Можно выделить два типа таких детекторов: в одном из них электромагнитное излучение поглощает только поверхность детектора, а в другом детектор объединен с антенной. Согласование с антенной дает большой выигрыш: чувствительный элемент может быть сколь угодно малым, много меньше длины волны регистрируемого излучения без потери эффективности поглощения излучения. Антенны совершенно необходимы в нанотехнологиях, в случаях, когда создание чувствительных структур с размерами порядка длины волны либо невозможно, либо приводит к существенно худшим характеристикам. В этом случае антенна сама должна быть порядка длины волны, а точность изготовления, по крайней мере, на порядок лучше. При регистрации излучения высокой частоты сложности в изготовлении антенных структур с нужной точностью возрастают, и механическое изготовление

антенн становится невозможным или нерациональным для диапазона частот 1–2 ТГц. На частотах выше 1 ТГц до сих пор самыми лучшими по чувствительности остаются гетеродинные приемники со сверхпроводящими смесителями на эффекте электронного разогрева Hot-Electron Bolometer (НЕВ) Mixers.

Быстродействие и чувствительность НЕВ детекторов напрямую зависят от размеров сверхпроводникового элемента, поэтому детекторы с размерами сверхпроводника порядка длины волны для терагерцового диапазона встраивают в планарные антенны.

Технология создания самих чипов детекторов очень сложна: это многоэтапный процесс, включающий осаждение сверхпроводниковой пленки, ее структурирование методами электронной литографии, плазмохимического травления и т. п. Все это требует предварительного моделирования подобных устройств. Задачу выбора оптимальных размеров наноструктур невозможно решить точно из-за сложной конфигурации электромагнитных полей и многих факторов, влияющих на граничные условия.

Одной из интересных особенностей нашего времени является то, что самые сложные научные приборы и методы исследований могут быть внедрены в учебный эксперимент ВУЗа и школы. Это позволяет существенно пополнить арсенал средств, используемых преподавателями, сделать процесс обучения более привлекательным. Одним из таких средств является программа трехмерного электромагнитного моделирования для проектирования СВЧ структур HFSS (High Frequency Structure Simulator) [23]. Она представляет собой мощный пакет программ, который вычисляет электромагнитные поля для трехмерной структуры произвольной формы [24].

Студентам предлагается проведение математического моделирования, которое может принимать различные формы: в качестве работы лабораторного практикума, проекта, курсовой работы или выпускной квалификационной работы в зависимости от уровня сложности задачи и подготовленности обучающегося. Подготовка студентов по математике и информатике вполне позволяет проведение таких исследований.

Электродинамическое моделирование в HFSS основано на методе конечных элементов, при котором пространство анализа разбивается на трехмерные тетраэдры, а компоненты электрического и магнитного полей во всех точках анализируемого пространства неизвестны. Моделирование включает в себя несколько основных этапов:

1. Создание трехмерной модели структуры, которую предстоит анализировать.
2. Выбор материалов, из которых будет состоять структура, и задание их характеристик.
3. Задание граничных условий на поверхностях анализируемой структуры и параметров решения.
4. Проведение анализа электродинамических параметров структуры в той области спектра электромагнитного излучения, которая задана.
5. Построение графика полученных зависимостей в различных системах координат, диаграммы направленности и т. д.
6. Сохранение результатов в файлах данных.

В качестве примера приведем некоторые этапы процесса моделирования:

1. Создание модели структуры, задание материалов и типа антенны. Планарная антенна представляет собой два диполя в форме бабочки (**Bowtie**), расположенные на некотором расстоянии друг от друга.

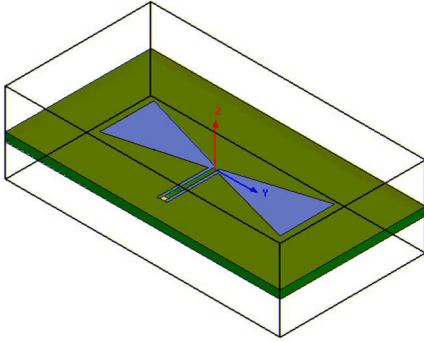


Рис. 2. Вид антенны с боксом излучения

распределения электромагнитных полей антенны.

3. Для визуализации электромагнитных полей в областях дальнего поля антенны можно построить график трехмерной диаграммы направленности антенны, пример его на рис. 4.

Заключение

Таким образом, перед преподавателями астрономии ставятся глобальные задачи по подготовке современных кадров, тем более что нынешние технологии

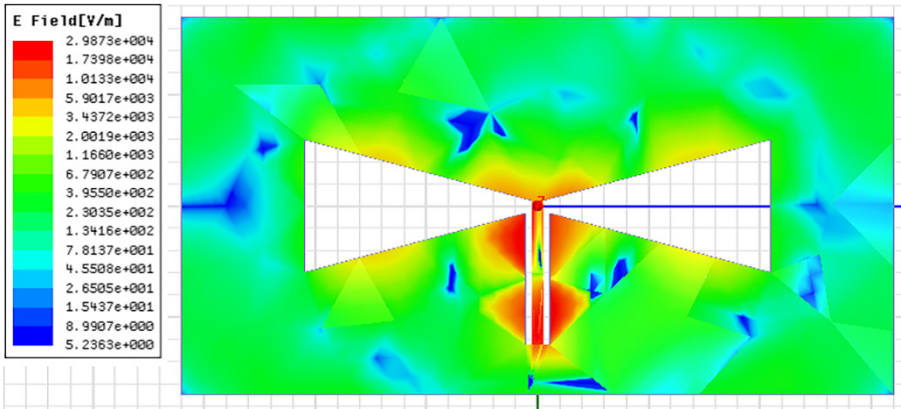


Рис. 3. Распределение поля на поверхности антенны

Диполи состоят из тонкого металлического слоя, осажденного на диэлектрическую подложку. Между серединами диполей включен сверхпроводящий болометр на эффекте электронного разогрева, питаемый постоянным током.

Электромагнитное излучение подается к антенне, состоящей из щелей с переменной шириной, по копланарным волноводам. Для того чтобы рассчитать характеристики антенны, необходимо ее окружить боксом излучения **Air Box**. На рис. 2 представлен вид антенны.

2. Выполнение расчета антенны в диапазоне частот излучения. На рис. 3 представлены результаты численного расчета

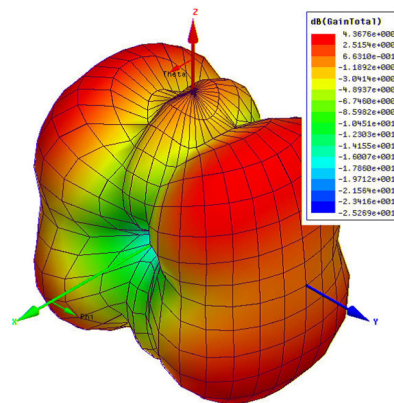


Рис. 4. Трехмерная диаграмма направленности антенны

позволяют сделать процесс обучения чрезвычайно увлекательным.

Пример использования программы трехмерного электромагнитного моделирования показывает, что современным студентам вполне доступно освоение серьезных инструментов, используемых для научных исследований. Внедрение подобных лабораторных работ в учебный

процесс дает возможность студентам познакомиться с содержанием деятельности современных астрономов при решении реальных научных проблем. В итоге они начинают понимать, что превращение Вселенной в астрономическую лабораторию — это вовсе не фантастика и не отдаленная перспектива. Это повседневная деятельность ученых.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Многоканальная астрономия / ред.-сост. А.М. Черпацук. Фрязино: Век 2, 2019. 528 с.
2. Засов, А.В. Современная астрономия и астрономия в школе // Физика в школе. 2019. № 1. С. 49–56.
3. Riess, A. et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant // *Astronomical Journal*. 1998. No. 116. P. 1009–1038. URL: <https://www.stsci.edu/~ariess/documents/1998.pdf> (дата обращения: 24.12.2022).
4. Штерн, Б.Е. Объявлены космологические результаты «Планка» // Троицкий вариант — Наука. 2013. № 6 (125). URL: <https://trv-science.ru/2013/03/obyavleny-kosmologicheskie-rezultaty-plancka/> (дата обращения: 24.12.2022).
5. Королев, М.Ю., Кудрявцев, В.В. Черные дыры: теоретические исследования и практические открытия. Нобелевская премия по физике 2020 года // Физика в школе. 2020. № 8. С. 50–59.
6. Постнов, К. Гравитационные волны: история изучения и открытие LIGO. URL: <http://postnauka.ru/faq/59492> (дата обращения: 24.12.2022).
7. Маров, М.Я., Шевченко, И.И. Экзопланеты. Экзопланетология. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. 138 с.
8. Tully, R.B., Courtois, H. et al. The Laniakea Supercluster of Galaxies // *Nature*. 2014. No. 513. P. 71–73.
9. Рябов, В.А. Нейтрино сверхвысоких энергий от астрофизических источников и распада сверхмассивных частиц // Успехи физических наук. 2006. Т. 176. № 9. С. 931–963.
10. Petrova, E.B., Chulkova, G.M., Korolev, M.Yu. About Teaching Students Materials Related to Deep Space Exploration // *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences (EрSBS)*. 2021. No. 116. P. 1142–1150.
11. Бартунов, О.С., Карпов, С.В. Астрономия в эпоху Big Data // Интернет и современное общество (IMS–2012): труды XV Всероссийской объединенной конференции. СПб., 2012. С. 23–27.
12. Мещеряков, А., Герасимов, С. Применение средств Data Mining в современной астрофизике. URL: <https://synthesis.frccsc.ru/sigmod/seminar/2016.06.26-Astromining.pdf> (дата обращения: 24.12.2022).
13. Петрова, Е.Б., Королев, М.Ю. Формирование функциональной грамотности обучающихся в ходе выполнения проектных работ по астрономии // Физика в школе. 2021. № 6. С. 57–64.
14. Петрова, Е.Б. Использование интернет-ресурсов для создания лабораторных работ по астрономии / Е.Б. Петрова, А.М. Каргаполова, В.А. Трифонов, М.А. Трифонова // Физика в школе. 2022. № 4. С. 48–53.

15. Кузнецова, И.В., Прохоров, М.Е. Развитие исследовательских навыков учащихся в новой практической работе по физике на базе открытых научных данных // Физика в школе. 2022. № 3. С. 44–51.
16. Хинич, И.И. Технологии дистанционного зондирования Земли при выполнении ученических исследовательских проектов / И.И. Хинич, Д.С. Родионов, В.П. Пронин, И.О. Попова // Физика в школе. 2022. № 2. С. 30–35.
17. Гомулина, Н.Н., Петрова, Е.Б. Использование интернет-ресурсов при формировании у обучающихся школы естественнонаучной картины мира // Физика в школе. 2016. № 1. С. 49–55.
18. Исаков, В.Н. Особенности организации образовательной среды при преподавании технических и естественнонаучных дисциплин в вузе // Преподаватель XXI век. 2021. № 1. Ч. 1. С. 56–66.
19. Кардашев, Н.С. Радиовселенная // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 5. С. 553–558.
20. Кардашев, Н.С. «Радиоастрон» — радиотелескоп много больше Земли. Научная программа // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. № 11. С. 1191–1202.
21. Кардашев, Н.С., Новиков, И.Д. и др. Обзор научных задач для обсерватории Миллиметронтрон // Успехи физических наук. 2014. Т. 184. № 12. С. 1319–1352.
22. Новиков, Д., Рудницкий, А. и др. Криогенный телескоп воссоздаст зарю Вселенной // Троицкий вариант. 2019. № 12 (281).
23. Банков, С.Е., Курушин, А.А. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS. М., 2009. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/library/4/text.pdf> (дата обращения: 24.12.2022).
24. Kurushin, A., Podkovyrin, S. Synthesis of Microwave Structures // IEEE Microwave Conference AMP 2001. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov17/15/text.pdf> (дата обращения: 24.12.2022).

REFERENCES

1. *Mnogokanalnaya astronomiya* [Multichannel Astronomy], ed.-comp. A.M. Cherepashchuk. Fryazino, Vek 2, 2019, 528 p. (in Russ.)
2. Zasov, A.V. *Sovremennaya astronomiya i astronomiya v shkole* [Modern Astronomy and Astronomy at School], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2019, No. 1, pp. 49–56. (in Russ.)
3. Riess, A. et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant, *Astronomical Journal*, 1998, No. 116, pp. 1009–1038. Available at: <https://www.stsci.edu/~ariess/documents/1998.pdf> (accessed: 24.12.2022).
4. Shtern, B.E. Obyavleny kosmologicheskie rezultaty “Planka” [Announced Cosmological Results of “Planck”], *Troickij variant — Nauka = Trinity Variant — Science*, 2013, No. 6 (125). Available at: <https://trv-science.ru/2013/03/obyavleny-kosmologicheskie-rezultaty-planka/> (accessed: 24.12.2022). (in Russ.)
5. Korolev, M.Yu., Kudryavcev, V.V. Chernye dyry: teoreticheskie issledovaniya i prakticheskie otkrytiya. Nobelevskaya premiya po fizike 2020 goda [Black Holes: Theoretical Studies and Practical Discoveries. Nobel Prize in Physics 2020], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2020, No. 8, pp. 50–59. (in Russ.)
6. Postnov, K. *Gravitacionnye volny: istoriya izucheniya i otkrytie LIGO* [Gravitational Waves: The History of the Study and Discovery of LIGO]. Available at: <http://postnauka.ru/faq/59492> (accessed: 24.12.2022). (in Russ.)
7. Marov, M.Ya., Shevchenko, I.I. *Ekzoplanety. Ekzoplanetologiya* [Exoplanets. Exoplanetology]. Moscow, Izhevsk, Institut kompyuternyh issledovanij, 2017, 138 p. (in Russ.)

8. Tully, R.B., Courtois, H. et al. The Laniakea Supercluster of Galaxies, *Nature*, 2014, No. 513, pp. 71–73.
9. Ryabov, V.A. Nejtrino sverhvysokih energij ot astrofizicheskikh istochnikov i raspada sverhmassivnyh chastic [Ultrahigh-Energy Neutrinos from Astrophysical Sources and the Decay of Supermassive Particles], *Uspehi fizicheskikh nauk = Successes of Physical Sciences*, 2006, vol. 176, No. 9, pp. 931–963. (in Russ.)
10. Petrova, E.B., Chulkova, G.M., Korolev, M.Yu. About Teaching Students Materials Related to Deep Space Exploration, *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences (EpSBS)*, 2021, No. 116, pp. 1142–1150.
11. Bartunov, O.S., Karpov, S.V. Astronomiya v epohu Big Data [Astronomy in the Era of Big Data]. In: *Internet i sovremennoe obshchestvo (IMS–2012)* [Internet and Modern Society (IMS–2012): Proceedings of the XV All-Russian Joint Conference]. St. Petersburg, 2012, pp. 23–27. (in Russ.)
12. Meshcheryakov, A., Gerasimov, S. *Primenenie sredstv Data Mining v sovremennoj astrofizike* [Application of Data Mining Tools in Modern Astrophysics]. Available at: <https://synthesis.frccsc.ru/sigmod/seminar/2016.06.26-Astromining.pdf> (accessed: 24.12.2022). (in Russ.)
13. Petrova, E.B., Korolev, M.Yu. Formirovanie funkcionalnoj gramotnosti obuchayushchihhsya v hode vypolneniya proektnykh rabot po astronomii [Formation of Functional Literacy of Students in the Course of Project Work on Astronomy], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2021, No. 6, pp. 57–64. (in Russ.)
14. Petrova, E.B., Kargapolova, A.M., Trifonov, V.A., Trifonova, M.A. Ispolzovanie internet-resursov dlya sozdaniya laboratornykh rabot po astronomii [Using Internet Resources to Create Laboratory Work on Astronomy], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2022, No. 4, pp. 48–53. (in Russ.)
15. Kuznecova, I.V., Prohorov, M.E. Razvitie issledovatel'skikh navykov uchashchihhsya v novej prakticheskoy rabote po fizike na baze otkrytykh nauchnykh dannykh [Development of Students' Research Skills in New Practical Work in Physics Based on Open Scientific Data], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2022, No. 3, pp. 44–51. (in Russ.)
16. Hinich, I.I., Rodionov, D.S., Pronin, V.P., Popova, I.O. Tekhnologii distancionnogo zondirovaniya Zemli pri vypolnenii uchenicheskikh issledovatel'skikh proektov [Technologies of Remote Sensing of the Earth when Performing Student Research Projects], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2022, No. 2, pp. 30–35. (in Russ.)
17. Gomulina, N.N., Petrova, E.B. Ispolzovanie internet-resursov pri formirovanii u obuchayushchihhsya shkol yestestvennonauchnoj kartiny mira [Internet Resources in the Formation of a Natural Science Picture of the World Among School Students], *Fizika v shkole = Physics at School*, 2016, No. 1, pp. 49–55. (in Russ.)
18. Isakov, V.N. Osobennosti organizacii obrazovatelnoj sredy pri prepodavanii tekhnicheskikh i estestvennonauchnykh disciplin v vuze [Features of the Organization of the Educational Environment when Teaching Technical and Natural Science Disciplines at the University], *Prepodavatel XXI vek = Russian Journal of Education*, 2021, No. 1, part 1, pp. 56–66. (in Russ.)
19. Kardashev, N.S. Radiovelennaya [Radio Universe], *Uspehi fizicheskikh nauk = Successes of Physical Sciences*, 2007, vol. 177, No. 5, pp. 553–558. (in Russ.)
20. Kardashev, N.S. “Radioastron” — radioteleskop mnogo bolshe Zemli. Nauchnaya programma [“Radioastron” is a Radio Telescope Much Larger than the Earth. Scientific Program], *Uspehi fizicheskikh nauk = Successes of Physical Sciences*, 2009, vol. 179, No. 11, pp. 1191–1202. (in Russ.)

21. Kardashev, N.S., Novikov, I.D. i dr. Obzor nauchnyh zadach dlya observatorii Millimetron [Review of Scientific Tasks for the Millimetron Observatory], *Uspehi fizicheskikh nauk* = Successes of Physical Sciences, 2014, vol. 184, No. 12, pp. 1319–1352. (in Russ.)
22. Novikov, D., Rudnickij, A. i dr. Kriogennyj teleskop vossozdast zaryu Vselennoj [Cryogenic Telescope Will Recreate the Dawn of the Universe], *Troickij variant* = Trinity Variant, 2019, No. 12 (281). (in Russ.)
23. Bankov, S.E., Kurushin, A.A. *Proektirovanie SVCH ustrojstv i antenn s Ansoft HFSS* [Designing Microwave Devices and Antennas with Ansoft HFSS]. Moscow, 2009. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/library/4/text.pdf> (accessed: 24.12.2022). (in Russ.)
24. Kurushin, A., Podkovyrin, S. Synthesis of Microwave Structures. *IEEE Microwave Conference AMP 2001*. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/nov17/15/text.pdf> (accessed: 24.12.2022).
25. Королев Максим Юрьевич, доктор педагогических наук, доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой, кафедра физики космоса, Московский педагогический государственный университет, myu.korolev@mpgu.su

Королев Максим Юрьевич, доктор педагогических наук, доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой, кафедра физики космоса, Московский педагогический государственный университет, myu.korolev@mpgu.su

Maxim Yu. Korolev, ScD in Education, Associate Professor, PhD in Physics and Mathematics, Chairperson, Space Physics Department, Moscow Pedagogical State University, myu.korolev@mpgu.su

Петрова Елена Борисовна, доктор педагогических наук, доцент, профессор, кафедра физики космоса, Московский педагогический государственный университет, eb.petrova@mpgu.su

Elena B. Petrova, ScD in Education, Associate Professor, Professor, Space Physics Department, Moscow Pedagogical State University, eb.petrova@mpgu.su

Чулкова Галина Меркурьевна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор, кафедра общей и экспериментальной физики, Московский педагогический государственный университет, gm.chulkova@mpgu.su

Galina M. Chulkova, ScD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor, General and Experimental Physics Department, Moscow Pedagogical State University, gm.chulkova@mpgu.su

Статья поступила в редакцию 25.12.2022. Принята к публикации 03.02.2023

The paper was submitted 25.12.2022. Accepted for publication 03.02.2023