

УДК 378.016:004.92

UDC 378.016:004.92

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТФОРМ ТРЕХМЕРНОЙ ГРАФИКИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА**FEATURES OF USING 3D GRAPHICS PLATFORMS IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF A PEDAGOGICAL UNIVERSITY**

С. И. Чубаров,
заведующий кафедрой
информатики и методики
преподавания информатики Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка,
кандидат физико-математических наук
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0822-540X>;

S. Chubarov,
Head of the Department
of Informatics and Methods
of Teaching Informatics Belarusian State
Pedagogical University
named after Maxim Tank,
PhD in Physics and Mathematics
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0822-540X>;

А. И. Гридасов,
старший преподаватель
кафедры информатики
и методики преподавания
информатики Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9792-3640>;

A. Gridasov,
Senior Lecturer
of the Department
of Informatics and Methods
of Teaching Informatics Belarusian State
Pedagogical University
named after Maxim Tank
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9792-3640>;

Н. Б. Яремчук,
старший преподаватель кафедры
информатики и методики преподавания
информатики Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6355-1478>;

N. Yaramchuk,
Senior Lecturer
of the Department of Informatics
and Methods of Teaching Informatics
Belarusian State Pedagogical University
named after Maxim Tank
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6355-1478>;

Е. Е. Котлинская,
студентка 2 курса физико-математического
факультета Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8615-0432>

E. Kotlinskaya,
2nd year student of physics
and mathematics faculty of Belarusian State
Pedagogical University
named after Maxim Tank
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8615-0432>

Поступила в редакцию 24.06.2024.

Received on 24.06.2024.

В работе проведен анализ возможностей различных платформ трехмерной графики для организации обучения студентов педагогического вуза различных профилей. Рассмотрены подходы для выбора программ обучения.

Ключевые слова: программы трехмерной графики; трехмерное моделирование; визуализация, 3D-печать, Blender.

The analysis of the capabilities of various 3D graphics platforms for organizing the training of students of pedagogical universities of various profiles is carried out. Approaches for choosing training programs are considered.

Keywords: 3D graphics programs; 3D modeling; visualization, 3D printing, Blender.

Введение. Тенденция активного внедрения в образовательный процесс на всех его уровнях STEM\STEAM-подхода предполагает, что студенты педагогических вузов должны владеть современными информационными технологиями, необходимыми для его реализации, в том числе визуализации научных концепций,

явлений и изучаемых объектов. 3D-технологии являются одним из направлений, позволяющих осуществить включение сенсорно-моторного этапа восприятия информации в традиционную организацию учебного процесса. Наряду с очевидными преимуществами использования 3D-моделей в учебном процессе, такими, как

повышение мотивации к обучению, визуализация сложных для понимания и образного восприятия процессов и объектов, наиболее важными являются активизация исследовательской и творческой деятельности и включение элементов технологичности и интерактивности в учебный процесс.

Для использования программ трехмерного моделирования в образовательном пространстве педагогического вуза необходимо четкое осознание их возможностей как в процессе создания виртуальных объектов, так и их материализация для дальнейшего использования в учебном процессе в школе для подготовки обучающихся разных возрастных групп, например, с целью ранней профориентационной деятельности. Под материализацией мы понимаем возможность изготовления модели доступными средствами, например с помощью 3D-печати.

Следовательно, необходим анализ программного обеспечения, удовлетворяющий многим факторам, среди которых: способность освоить программу или программы студентами разных направлений. Например, программа Mathematica [1] может и не представлять принципиальных трудностей в освоении для студентов физико-математического профиля, чего нельзя сказать о студентах других профилей – будущих историках, биологах и др. Требуется, по возможности, универсальное решение, удовлетворяющее представителей всех направлений педагогического вуза. Таким образом, программное обеспечение должно быть доступным не только на этапе его освоения, но и в экономическом смысле, то есть программное обеспечение должно быть бесплатным или условно бесплатным (наличие студенческой версии, например). Часто необходимо учитывать языковой фактор – желателен русификатор, особенно для будущих обучающихся, которые могут быть учащимися начальной школы, или даже воспитанниками детского сада, для самих же студентов данный критерий не является критичным – знание английского языка сегодня является нормой. Вышеизложенные требования значительно сужают выбор программ трехмерного моделирования из всего их многообразия до незначительного количества.

Особенности платформ трехмерной графики при использовании в образовательном процессе. Для большинства педагогических специальностей может быть

предложен следующий образовательный маршрут:

TINKERCAD → Autodesk 123D Design → SketchUp (DesignSpark Mechanical) → Blender 3D Builder.

Некоторые особенности образовательных маршрутов, связанные со специализацией студентов, представлены в таблице 1.

Остановимся подробнее на рассмотрении некоторых особенностей данных программных продуктов. Онлайн-ресурс TINKERCAD удовлетворяет большинству требований: бесплатный (регистрация на сайте), интуитивно понятный интерфейс, моделирование осуществляется по принципу сборки конструктора. При всей простоте программа позволяет познакомиться с двумя основными булевыми операциями: сложения (объединение фигур) и вычитания. Интерфейс русифицирован, существует большое количество обучающих ресурсов, в том числе интерактивных, размещенных на странице самого сервиса [2]. Несмотря на то что для работы в программе требуется регистрация (с 18 лет), сама программа может изучаться практически с любого возраста, даже дошкольники могут конструировать с ее помощью. В этом случае предусмотрена возможность использования виртуального класса, создаваемого педагогом непосредственно в данном ресурсе. В таком классе педагог регистрирует и допускает учеников к работе и контролирует процесс изучения программы. Также сервис позволяет организовать совместную работу над одной и той же моделью сразу нескольких обучающихся, что позволяет его использовать в качестве платформы для реализации групповых проектов.

Autodesk 123D Design создавался той же компанией Autodesk, но на каком-то этапе компания отказалась от программы 123D Design в пользу TINKERCAD. Тем не менее следует отметить, что программа 123D Design по способу создания и редактирования трехмерных объектов существенно ближе к программам САПР, типа SolidWorks, КОМПАС и т. п. К примеру, в ней предусмотрены операции редактирования объектов типа фаски или скругления, а также присутствует третья булева операция – пересечение и другие опции, владение которыми необходимо для будущих инженеров и техников. Несмотря на то что компания Autodesk прекратила поддержку данной программы, она доступна для скачивания.

Таблица 1 – Образовательные маршруты в зависимости от специальностей

Профиль	1-я стадия изучения	2-я стадия изучения	3-я стадия изучения	4-я стадия изучения
Все	TINKERCAD			Blender 3D Builder
Естественно-научный		Autodesk 123D Design	DesignSpark Mechanical	Blender 3D Builder
Математический			OpenSCAD	Blender 3D Builder
Художественный		Autodesk 123D Design	SketchUp	Blender 3D Builder

Другим достоинством этих двух программ является способ описания объекта в пространстве – твердотельное моделирование. Такой способ, в отличие от поверхностного моделирования, позволяет создавать трехмерные объекты без логических ошибок, возможных в программах типа SketchUp или Blender.

Возможности программы SketchUp в изучении осваиваются в курсе информатики в 9 классе средней школы [3]. В данном контексте следует отметить, что она в большей степени предназначена для быстрого создания эскиза и его визуализации, что следует из названия (Sketch – набросок). Тем не менее возможности программы позволяют печатать разработанные модели, правда, с проверкой изделий на замкнутость полигонов при помощи сервиса NetFabb, что не является проблемой [4]. На этапе выбора ПО необходимо учитывать данный аспект, так как программы поверхностного моделирования, в отличие от твердотельного, могут оставлять незакрытые поверхности, что требует исправления. Программа SketchUp предполагает платное использование в версии Pro, но до 2016 г. программа была бесплатна и ее функционал вполне подходит для нужд педагога. Для педагогов художественного профиля данная программа выполняет множество других, весьма полезных функций, например позволяет строить планы помещений по размерам, что может быть полезным в преподавании черчения.

Важной особенностью рассмотренных программ является возможность непосредственного вывода созданной модели на 3D-печать, то есть в них уже предусмотрена возможность сохранения созданного файла в формате STL для дальнейшего слайсинга и печати. Необходимо отметить, что большинство современных программ трехмерной графики предлагают такую возможность – сохранение файла в фор-

мате STL, который с помощью программы-слайсера преобразуется в G-код для дальнейшей печати.

Таким образом, концепция может быть представлена математически (классический язык формул), графически (виртуальная модель) и в форме трехмерной физической модели, что открывает широкие возможности для использования данного подхода для большинства педагогических специальностей.

Необходимо отметить, что даже освоение относительно простых технологий 3D-моделирования в программных продуктах, таких, как TINKERCAD, 123D Design и т. п., позволяет изготавливать некоторые наглядные пособия методом 3D-печати, что само по себе может способствовать повышению мотивации обучающихся, особенно если будут распечатаны изделия, созданные самими обучающимися. Изучение более серьезных программных продуктов, таких, как, например, упоминавшиеся ранее программы DesignSpark Mechanical и Blender 3D и им подобные, имеет смысл для углубленного изучения отдельных предметов или подходов в их изучении. Индивидуальная траектория при этом может быть разной. Можно выделить некоторые общие подходы. Например, для учащихся, увлекающихся робототехникой, часто бывает необходимо изготовление корпусов изделий, частей роботов и т. п. В этом случае можно обратить внимание на современный бесплатный программный продукт DesignSpark Mechanical. Это полноценная программа трехмерного моделирования с возможностью вывода на 3D-печать, оснащенная огромной библиотекой готовых решений, которые также можно скачать бесплатно [5]. К недостаткам можно отнести отсутствие русификатора и специализацию, о которой упоминалось выше.

Завершает список программа Blender 3D Builder, которая является универсальным средством создания виртуального мира – от моделей до их вывода на 3D-печать, от соз-

дания персонажей до их анимации. Кроме этого, программа Blender может эффективно использоваться для моделирования и исследования физических явлений (гравитация, система частиц, распространение волн и т. д.) [6].

Таким образом, технологию трехмерного моделирования и прототипирования можно предложить к использованию в следующих школьных дисциплинах:

- алгебра – для визуализации процессов, описанных формулами;
- геометрия – для визуализации геометрических объектов и создания пособий для решения задач, таких, как сечение объемных фигур и плоскостью;
- физика – для моделирования и визуализации физических явлений, изготовления экспериментального оборудования для проведения натуральных экспериментов;
- астрономия – для изготовления моделей как небесных тел, так и приборов для наблюдения за ними;
- химия – для создания моделей молекул и атомов, лабораторного оборудования и посуды;
- биология – для визуализации биологических процессов, создания моделей структурных единиц биологических объектов, отдельных органов и систем организмов;
- география – для визуализации природных и атмосферных явлений, для 3D-моделирования и визуализации ландшафта;
- история – изготовление 3D-моделей исторических объектов [7];
- информатика – для изучения общих подходов к 3D-моделированию.

Процесс создания материальной модели, независимо от педагогической специа-

лизации, можно представить схемой (рисунок 1)

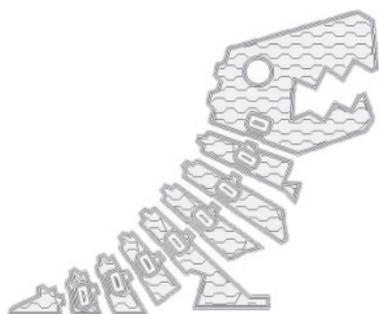
Причем компьютерная модель может использоваться сама по себе в качестве виртуальной иллюстрации процесса или явления, как это и происходит в настоящее время. Создание же материального образца по такой модели способно усилить интерес учащихся к изучаемой теме.

Остановимся подробнее на методических возможностях использования некоторых аспектов для углубленного изучения предметов школьной программы и взаимосвязи между ними. В качестве примера рассмотрим применение трехмерного моделирования для отдельных профилей образования, представленных в педагогическом вузе.

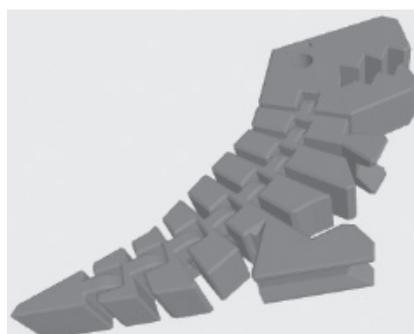
Математическое образование

Визуализация формул позволит лучше донести некоторые темы для учащихся, особенно для тех, у кого больше развито конкретное мышление по сравнению с абстрактным. Нас будут интересовать преимущества, которые предоставляет 3D-печать для визуализации математических формул. Необходимо отметить, что с помощью аддитивной технологии, используемой в 3D-печати, стало возможным создание изделий со сложной внутренней структурой, изготовление которых затруднено или невозможно при «субтрактивной» технологии, при которой материал удаляется от исходного тела (например, токарная и фрезерная обработка или сверление). С использованием аддитивных технологий этих проблем практически не существует. Еще один важный аспект в том, что 3D-принтеры могут обеспечить настолько высокое качество и точность изготовления модели, что полученный объект чрезвычайно близко приближается к математической модели.

Концепция



Компьютерная модель



3D-печатный объект



Рисунок 1 – Схема создания материальной модели

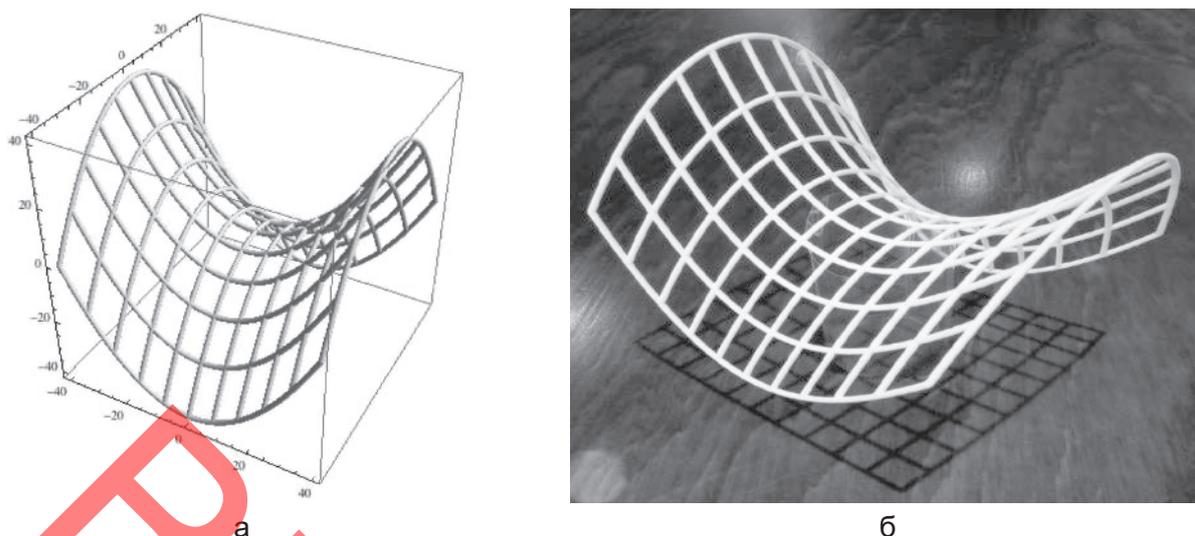


Рисунок 2 – Трехмерная модель гиперболического параболоида

Первое направление может включать в себя построение модели в программе обработки математических формул, например в уже упоминавшейся Mathematica. В данном случае программа позволяет получить как трехмерную виртуальную модель, например гиперболического параболоида, описываемого формулой: $z = \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}$, (рисунок 2а),

так и экспортировать файл для распечатки модели на 3D-принтере для демонстрации учащимся (рисунок 2б).

Данный файл (рисунок 2а) представлен в том виде, как он визуализируется в программах просмотра. Формат STL является стандартным форматом для математического описания фигур с помощью сетки треугольников, и как уже указывалось, это формат, который воспринимается слайсером для подготовки к 3D-печати. Файл содержит список треугольников, каждый из которых задан формулой координат его углов в трех измерениях. Это необходимо иметь в виду в процессе создания трехмерной модели, так как программное обеспечение 3D-принтера интерпретирует их объединение как замкнутую ориентируемую вложенную поверхность, из которого он может определить, какие воксели (трехмерные аналоги пикселей) находятся внутри поверхности (и поэтому она и будет твердой, заполненной пластиком или другим материалом), а которые находятся снаружи и должны быть, соответственно, пустыми.

Несколько слов о представлении поверхностей, отображающих математические формулы. Поверхность двумерна, но ее материальное воплощение (распечатанный эле-

мент) должно иметь некоторую толщину. Один из вариантов, так обычно и делают для изготовления 3D-моделей, – сплошная (закрытая) поверхность. Но для визуализации математических формул целесообразным является выбор «прозрачной», или сетчатой, поверхности.

Такой способ представления трехмерного объекта имеет свои преимущества: во-первых, экономится материал, и для технологии 3D-печати это напрямую связано с сокращением времени печати и, следовательно, удешевлением конечного продукта, во-вторых, «прозрачность» дает лучшее визуальное представление о форме объекта, и в-третьих, часто бывает важно видеть через одну поверхность другие объекты, находящиеся за ней [8].

Более сложные, художественные или абстрактные, объекты трудно или почти невозможно моделировать в данных математических программах. Для этих целей альтернативой является программа Blender 3D.

Художественное образование

Студенты профиля «Художественное образование» изучают компьютерную графику (растровую и векторную), знакомятся с программами компьютерной верстки и др., а также изучают трехмерное моделирование. Собственно, программа Blender 3D для этого и предназначена.

Знание возможностей программ трехмерного моделирования позволяет в дальнейшем организовать учебный процесс в школе с предметным воплощением изучаемой эпохи, например создание моделей архитектурных памятников данного периода [9].

Изготовление модели герба своего города, на наш взгляд, может мотивировать учащихся к изучению истории, а также способствует пониманию некоторых профессиональных компетенций, необходимых для педагогов художественного профиля для дальнейшей профориентационной деятельности.

Инклюзивное образование

Для учащихся с ограниченными возможностями чрезвычайно важна включенность всех органов восприятия, в том числе тактильных. Физический образец позволяет подкрепить тактильные ощущения при изучении физических объектов (шрифт Брайля – классический пример для слепых). Создание и распечатка таких моделей может являться подспорьем для педагога инклюзивного образования.

Таким образом создается доступная и интерактивная среда для обучения. Например, с помощью 3D-печати можно создать тактильные карты, которые помогут людям с ограниченными возможностями более комфортно ориентироваться в пространстве и облегчат обучение. Данная тема требует дальнейшего исследования.

Поскольку основной целью визуализации считается эффективная коммуникация, чрезвычайно важно понимать, как аудитории коммуникации, так и передаваемую информацию.

Естественно-научное образование (химия, биология, физика)

Студенты естественно-научного профиля изучают компьютерную графику (растровую и векторную), а также трехмерное моделирование в рамках дисциплины «Информационные технологии в образовании». Собственно, программа Blender 3D для этого и предназначена.

Знание технологий трехмерного моделирования позволяет в дальнейшем организовать учебный процесс в школе с использованием моделей компьютерных и материальных смоделированных самостоятельно, в соответствии с дидактическими задачами изучения конкретных тем таких дисциплин, как химия, биология и география.

В рамках отведенного небольшого количества часов для изучения темы «Дидактические возможности компьютерных средств обработки графической информации» студентам предлагается освоить базовые навыки 3D-моделирования на основе простейших

редакторов TINKERCAD, которые позволяют сконструировать прототипы несложных объектов, например модели молекул различных веществ (рисунок 3).

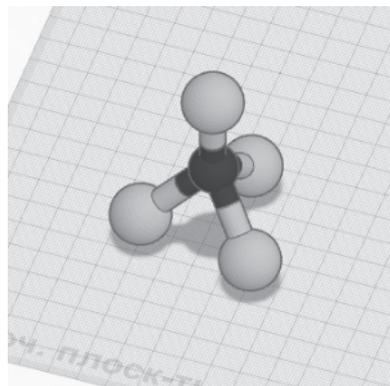


Рисунок 3 – Пример модели молекулы в TINKERCAD

Для ознакомления студентов с приемами работы в этом онлайн-сервисе используются размещенные на странице сервиса интерактивные уроки.

Студентам, которые владеют начальными навыками 3D-моделирования, а такие в последние годы встречаются все чаще, так как эта сфера информационных технологий стала достаточно популярной среди молодежи, предлагается создание более сложных моделей на базе программы Blender 3D (рисунок 4).

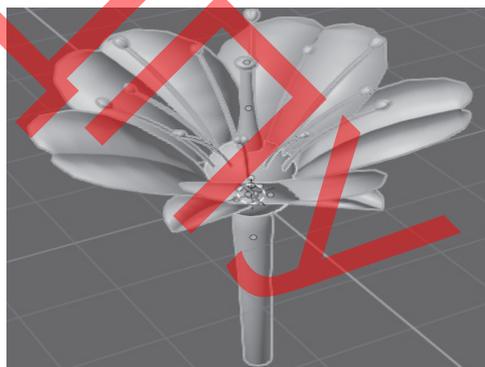


Рисунок 4 – Пример модели цветка, созданной в Blender 3D

Основные технологические приемы по созданию подобных моделей в Blender 3D описаны в методическом пособии, разработанном сотрудниками кафедры [10]. В нем отражены такие базовые операции, как: трансформация; дублирование; операции редактирования объектов, в том числе экструдирование; редактирование сетки объек-

тов для изменения их формы; использование модификаторов для преобразования объектов; булевы операции с объектами; создание объемных объектов из кривых; настройка сцены, материалов и освещения; основы анимации (рисунок 5).

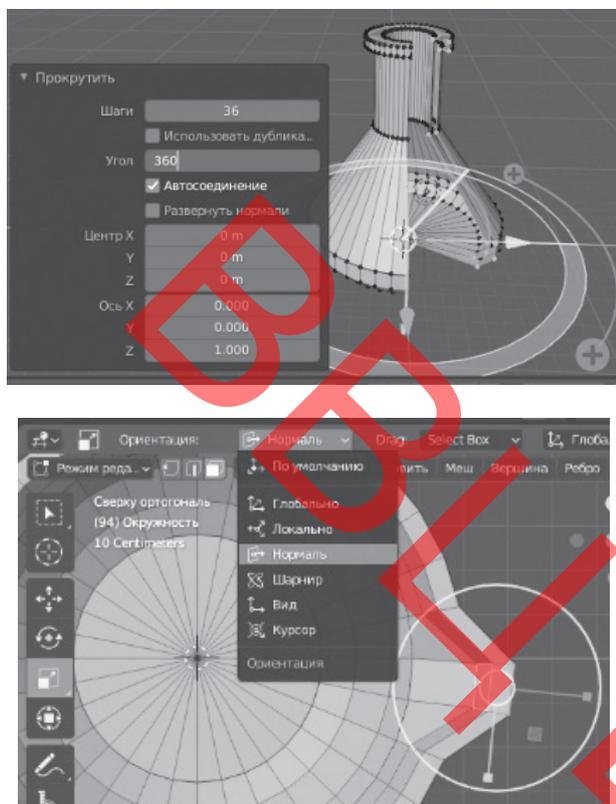


Рисунок 5 – Иллюстрации процесса создания моделей химической посуды из методического пособия по Blender 3D

Конструирование 3D-моделей помимо того, что развивает пространственное мышление, позволяет студентам изучить моделируемые объекты более детально и углубить свои знания о них [11]. Так, создавая модели даже простых по структуре молекул, студентам необходимо знать и соблюдать законы и параметры пространственного расположения отдельных элементов в них, при переходе же к моделированию более сложных молекул и молекулярных структур необходимо также понимать и реализовывать законы повторения одинаковых элементов в молекулах с различным типом структур (линейной, гребнеобразной, сшитой и другими). При моделировании биологических объектов и систем важно знать и учитывать особенности их строения и функционирования, и так же, как при конструировании химических моделей, точно

представлять, соблюдать и реализовывать пространственное расположение отдельных их элементов.

Для определения возможностей данной платформы нами был разработан алгоритм создания динамической планетарной модели атома, предложенной Резерфордом (рисунок 6). Создание динамической планетарной модели атома Резерфорда позволяет не только глубже понять структуру атома, но и развить навыки работы с современными графическими редакторами.

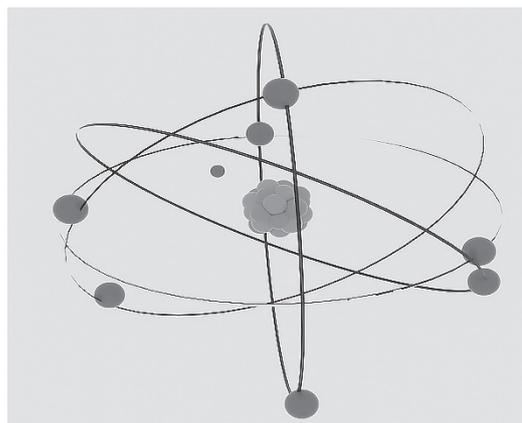


Рисунок 6 – Динамическая планетарная модель атома

Разработанный алгоритм построения динамической 3D-модели может быть использован для образовательных целей в школах, университетах, а также для самостоятельного изучения. Полученная модель атома может служить наглядным пособием для изучения атомной физики, а также быть использована в научно-популярных презентациях и публикациях.

Заключение. Включение технологий 3D-визуализации является одним из важных компонентов технологических компетенций будущих педагогов, что особенно важно в условиях внедрения STEAM-подхода в образование, так как дает возможность в их будущей профессиональной деятельности разнообразить формы представления учебного материала, в том числе с включением сенсорно-моторного восприятия информации, сделать образовательный процесс эффективным, технологичным и интерактивным. Как уже отмечалось выше, включение 3D-моделирования в обучение вне зависимости от специализации студентов позволяет создать благоприятную среду для реализации всех компонентов STEAM-подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wolfram Mathematica: Современные технические вычисления. – URL: <https://http://www.wolfram.com/mathematica/>. (дата обращения: 29.03.2024).
2. Гайд по основам 3D-моделирования. Знакомство с Autodesk Tinkercad – URL: <https://www.ixbt.com/live/3d-modelling/gayd-po-osnovam-3d-modelirovaniya-znakomstvo-s-autodesk-tinkercad.html/> (дата обращения: 29.03.2024).
3. Информатика: учебное пособие для 9 класса учреждений общего среднего образования с русским языком обучения / В. М. Котов, А. И. Лапо, Ю. А. Быкадоров, Е. Н. Войтехнович. – Минск : «Народная асвета», 2019. – 166 с.
4. Использование SketchUp для печати на 3D принтере. – URL: <https://microsin.net/adminstuff/others/sketchup-for-3d-printing.html/> (дата обращения: 29.03.2024).
5. Официальный сайт DesignSpark CAD Design & 3D Modelling Software – URL: <https://www.rs-online.com/designspark/mechanical-software>. (дата обращения: 29.03.2024).
6. Филиппов, С. В. Программная платформа Blender как среда моделирования объектов и процессов естественно-научных дисциплин / С. В. Филиппов. – М., 2018. – № 230. – 42 с. (Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша). doi:10.20948/prepr-2018-230
7. Возможности программной платформы наглядного моделирования BLENDER в рамках развития цифрового образования в педагогическом университете / А. И. Гридасов, Т. А. Зыгмантович, Г. А. Скомянова, С. И. Чубаров // Весті БДПУ. Сер. 3, Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2023. – № 2. – С. 26–32.
8. Henry Segerman 3D printing for mathematical visualization. – URL: <https://www.academia.edu/>. (дата обращения: 29.03.2024).
9. Гридасов, А. И. STEAM-подходы в формировании компетенций педагогов-художников / А. И. Гридасов // Материалы XV Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2022. – С.62–67
10. Яремчук, Н. Б. Blender V 4.0.2. / Н. Б. Яремчук. – URL: https://bspu.by/moodle/drafffile.php/203/user/draft/27724-2148/Blender_2.pdf. (дата обращения: 29.05.2024).
11. Яремчук, Н. Б. Использование образовательных 3D-моделей для развития наглядно-образного мышления / Н. Б. Яремчук // Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы : материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 20–21 нояб. 2022 г. / Белорус. гос. пед. ун-т ; редкол.: С. И. Василец (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – С. 409–412.

REFERENCES

1. Wolfram Mathematica: Sovremennye tekhnicheskie vychisleniya. – URL: <https://http://www.wolfram.com/mathematica/>. (data obrashcheniya: 29.03.2024).
2. Gajd po osnovam 3D-modelirovaniya. Znakomstvo s Autodesk Tinkercad – URL: <https://www.ixbt.com/live/3d-modelling/gayd-po-osnovam-3d-modelirovaniya-znakomstvo-s-autodesk-tinkercad.html/> (data obrashcheniya: 29.03.2024).
3. Informatika: uchebnoe posobie dlya 9 klassa uchrezhdenij obshchego srednego obrazovaniya s russkim yazykom obucheniya / V. M. Kotov, A. I. Lapo, Yu. A. Bykadorov, E. N. Vojtekhovich. – Minsk : «Narodnaya asveta», 2019. – 166 s.
4. Ispol'zovanie SketchUp dlya pechati na 3D printere. – URL: <https://microsin.net/adminstuff/others/sketchup-for-3d-printing.html/> (data obrashcheniya: 29.03.2024).
5. Oficial'nyj sajt DesignSpark CAD Design & 3D Modelling Software – URL: <https://www.rs-online.com/designspark/mechanical-software>. (data obrashcheniya: 29.03.2024).
6. Filippov, S. V. Programmnyaya platforma Blender kak sreda modelirovaniya ob"ektov i processov estestvenno-nauchnyh disciplin / S. V. Filippov. – M., 2018. – № 230. – 42 s. (Preprint IPM im. M. V. Keldysha). doi:10.20948/prepr-2018-230
7. Vozmozhnosti programmnoj platformy naglyadnogo modelirovaniya BLENDER v ramkah razvitiya cifrovogo obrazovaniya v pedagogicheskom universitete / A. I. Gridasov, T. A. Zygmanovich, G. A. Skom'yanova, S. I. Chubarov // Vesci BDPU. Ser. 3, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Biyalogiya. Geografiya. – 2023. – № 2. – S. 26–32.
8. Henry Segerman 3D printing for mathematical visualization. – URL: <https://www.academia.edu/>. (data obrashcheniya: 29.03.2024).
9. Gridasov, A. I. STEAM-podhody v formirovanii kompeten-cij pedagogov-hudozhnikov / A. I. Gridasov // Materialy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Novosibirsk, 2022. – S.62–67
10. Yaremchuk, N. B. Blender V 4.0.2. / N. B. Yaremchuk. – URL: https://bspu.by/moodle/drafffile.php/203/user/draft/27724-2148/Blender_2.pdf. (data obrashcheniya: 29.05.2024).
11. Yaremchuk, N. B. Ispol'zovanie obrazovatel'nyh 3D-mo-delej dlya razvitiya naglyadno-obraznogo myshleniya / N. B. Yaremchuk // Fiziko-matematicheskoe obrazovanie: celi, dostizheniya i perspektivy : materialy mezhhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Minsk, 20–21 noyab. 2022 g. / Belarus. gos. ped. un-t ; redkol.: S. I. Vasilec (otv. red.) [i dr.]. – Minsk, 2022. – S. 409–412.