

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ПОЛЕТОВ КАК ОДНА ИЗ ТЕМ ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ШКОЛЫ

Кузнецова Анастасия Сергеевна,

ученица 10 класса

Муниципальное бюджетное образовательное учреждение «Физико-математический лицей №31 г. Челябинска»

Шефер Ольга Робертовна,

доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры физики и методики обучения физике

ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет»

✉ shefer-olga@yandex.ru

Лебедева Татьяна Николаевна,

кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информатики и методики обучения информатике

ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет»

✉ lebedevatn@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье представлен процесс организации проектной работы с обучаемыми и дано описание проектной работы на тему «Моделирование межзвездных полетов»: концептуальная модель межзвездного полета, физико-математическая модель взаимодействия и движения тел (ядра галактики, звезд и звездолета, программы для расчета траекторий тел и их рисования в различных системах отсчета).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: образовательный стандарт, компьютерная модель, формализация, проектные технологии, межзвездный полет, подготовка будущих педагогов.

MODELING OF INTERSTELLAR FLIGHTS AS ONE OF THE TOPICS OF COMPUTER MODELING PROJECTS FOR SCHOOLS

Kuznetsova A. S.,

10th grade student

Municipal budgetary educational institution "Physics and Mathematics Lyceum No. 31 of Chelyabinsk"

Shefer O. R.,

Doctor of Pedagogy, Associate Professor, Professor of the Department of Physics and Teaching Methods physics

FSBEI HE "South Ural State Humanitarian Pedagogical University"

Lebedeva T. N.,

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Teaching Methods informatics

FSBEI HE "South Ural State Humanitarian Pedagogical University"

ABSTRACT

The article presents the process of organizing project work with trainees and describes the project work on the topic «Modeling interstellar flights»: a conceptual model of interstellar flight, a physical and mathematical model of the interaction and movement of bodies (the nucleus of a galaxy, stars and a spaceship, programs for calculating the trajectories of bodies and drawing them in various reference systems).

KEYWORDS: *educational standard, computer model, formalization, design technologies, interstellar flight, training of future teachers.*

С каждым годом компьютерная техника, аппаратное и программное обеспечение развивается быстрыми темпами. Вместе с тем отмечается и возрастание роли компьютерных технологий, отличающихся от предшественников методологией хранения, доступа, обработки и передачи информации. Новые технологии предоставляют пользователю такие возможности, которые способны повлиять на его образование, мировоззрение и творческий потенциал. Благодаря этому человек может эффек-

тивно управлять информацией, анализировать и синтезировать на основе имеющихся и опыта предшествующей деятельности новые знания, выбирать оптимальные методы для обработки информации, выдвигать гипотезы и доказывать их опытным путем, строя различные модели, рассматриваемых процессов и явлений, находить рациональный способ решения задачи.

Процесс построения моделей и работа с ними является мощным орудием познания, позволяет выпускнику достичь не только цели исследования, но и приобрести необходимые знания, умения и навыки в смежных фундаментальных и прикладных областях.

Сегодня метод проектов, помимо использования письменных измерительных материалов, практических и лабораторных работ с установками, является одним из эффективных форм оценки учебных действий обучаемого при выполнении групповых и индивидуальных учебных исследований и проектов. Согласно ФГОС ООО организация проектной деятельности обучаемых обязательна в 10–11-х классах общеобразовательной школы. Проектная деятельность призвана системно подходить к решению основных задач достижения предметных, метапредметных и личностных образовательных результатов обучающихся. Являясь активным методом обучения, метод проектов имеет свои отличительные особенности:

- стимуляция интеллектуальной активности обучаемых;
- повышение мотивации учения и результатах своей деятельности;
- формирование умения работать в команде;
- развитие навыка самостоятельной постановки и решения проблемы;
- развитие творческих способностей и логического мышления;
- объединение знаний, полученных в ходе учебного процесса и приобщение к решению конкретных жизненно важных проблем.

Внедрение в практику школьного обучения организации проектной деятельности обучающихся позволяет усилить межпредметные связи различных школьных предметов и реалий окружающей действительности, развить общеучебные умения, перевести их во владение, формирует готовность и способность у обучающихся к достижению планируемых результатов обучения [1]. Использование метода проектов в обучении направлено на снижение тревожности обучающихся, что позволяет создать условия для осознанного выбора экзаменов из процедуры государственной итоговой аттестации, содержание которых лежат в основе будущей профессиональной деятельности [2; 3].

Исторически сам метод проектов возник еще в 20-х годах прошлого века. Широкое применение системно-деятельностного подхода в реализации проектного обучения в соответствии с ФГОС позволяет подойти к оценке способностей обучающихся (решение учебно-познавательных и учебно-практических задач) на новом уровне. Поэтому четкое понимание основных понятий проектного обучения (проект, проектная деятельность, виды проектов и пр.), а также его методологии является обязательным для изучения в вузе. Анализ рабочих программ по направлению подготовки 44.03.01 Педагогическое образование показал, что изучение всех этих вопросов рассматривается на многих дисциплинах: «Педагогика», «Цифровые технологии в образовании», а также методики преподавания отдельных дисциплин, организации внеурочной работы и т. д. Каждая из перечисленных дисциплин вносит свой сильный вклад в понимание процесса проектной работы в школе: от основных понятий до их практического применения.

Проектная деятельность при изучении моделирования и формализации ориентирована на использование знаний, умений и навыков, полученных в ходе обучения, для постановки и решения практических задач, которые могут носить как академический, так и прикладной характер [4; 5]. Работа над проектом

позволяет обучающимся участвовать в создании конкретного «продукта» деятельности, научиться работать в команде, условиях ограниченного времени, иногда даже и под руководством реального заказчика, а также презентовать полученный «продукт».

В школьном курсе информатики компьютерное моделирование до сих пор является одним из самых сложных разделов для изучения понятий объект, модель, система, моделирование, формализация, классификации и виды информационных моделей, планирование и проведение компьютерных экспериментов с моделью. Данный раздел имеет научно-прикладную направленность в виду мировых научных открытий и раскрывает их применение в практической деятельности человека.

При разработке моделей требуется больше времени на изучение предметной области, выбора технологий и средств ее создания, изучения свойств, создания прототипов и выбора наилучших решений. Учитывая это, в настоящее время освоение моделирования и формализации более полно реализуется в рамках проектной деятельности, которая является обязательной согласно федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования (ФГОС СОО) для всех обучающихся, в том числе и при изучении предмета «Информатика».

Сегодня в результате изучения учебного предмета «Информатика» у выпускника на базовом уровне должно быть сформировано представление о компьютерно-математических моделях и необходимости анализа соответствия модели моделируемому объекту (процессу); на углубленном уровне — уметь систематизировать знания, относящихся к математическим объектам информатики, строить математические объекты информатики; владеть опытом построения и использования компьютерно-математических моделей, проведения экспериментов и статистической обработки данных с помощью компьютера, интерпретирования результатов, получаемых в ходе моделирования реальных

процессов, методами оценивания числовых параметров моделируемых объектов и процессов, умением пользоваться базами данных и справочными системами.

Несмотря на то, что компьютерное моделирование не было представлено в первых школьных учебниках информатики, учебные задачи, решаемые на уроках информатики, носили физико-математический характер и требовали построение соответствующей модели в зависимости от условия задачи, особенностей создания и эксплуатации модели. Так в учебнике «Основы информатики и вычислительной техники» А. Г. Гейна и др. [6] была представлена технология решения задачи на электронно-вычислительной машине (ЭВМ) в виде взаимосвязанных этапов (рис. 1).

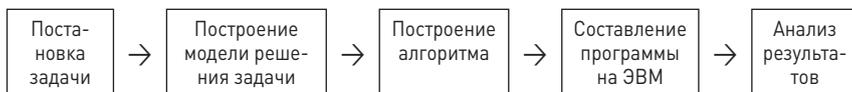


Рис. 1. Описание процесса решения задачи на ЭВМ

При работе над проектом, где центральной частью является компьютерное моделирование, обучающиеся проходят все эти этапы для получения, заявленного в цели информационного продукта. Причем этапы 3 и 4 (построение алгоритма и составление программы на ЭВМ) могут быть объединены в виду использования общего подхода к проектированию программы. Учитывая особенности организации проектной деятельности обучающихся, опишем полученный в процессе ее осуществления продукт — модель межзвездных полетов.

«Структура и соответственно этапы проектной деятельности могут быть представлены, по мнению М. Б. Павловой и Дж. Питт, линейно: потребность → проблема исследования → первоначальные идеи → оценка идей → разработка лучшей идеи (идей) → планирование → изготовление → апробирование → оценка» [7].

Учитывая сложность разрабатываемых моделей, отсутствие опыта ведения научной деятельности, целесообразно использовать спиралевидную модель разработки информационного продукта, введенную в середине 1980-х годов Барри Боэмом [8].

Анализируя предлагаемые О. С. Маркович и В. Л. Усольцевым программные средства, которые могут быть использованы при изучении компьютерного моделирования в подготовке бакалавров образования по профилю «Информатика» [9], в качестве инструментов построения и разработки компьютерной модели в школьном курсе информатики используются один из языков программирования (PascalABC.NET, Visual Basic, Python, C++), а также электронные таблицы (MS Excel) или другие программные приложения (системы компьютерного черчения, системы управления базами данных, роботами, графические системы, математические и статистические пакеты и пр.).

Проиллюстрируем основные этапы на примере работы над проектом «Моделирование межзвездных полетов».

Этап 1. Постановка задачи

На сегодняшний день по всему миру найдутся тысячи энтузиастов, которые уверены в том, что будущее нужно строить уже сейчас. Ричард Обузи — один из основателей и президент компании Icarus Interstellar, отмечает: «Межзвездные перелеты — это международная инициатива многих поколений людей, которая требует огромных интеллектуальных и финансовых затрат. Уже в наши дни мы должны инициировать необходимые программы, для того чтобы через сотню лет человечество смогло вырваться за пределы нашей Солнечной системы».

Принимая во внимание беспрецедентную сложность и грандиозность межзвездной экспедиции, ее нельзя рассматривать как самостоятельную научно-техническую задачу. Это долгосрочная, многоэтапная и комплексная программа, которая будет опре-

делять стратегию всей космической деятельности человечества. Разработка межзвездного корабля любого типа, вне зависимости от заложенных в его конструкцию физических принципов движения, должна начинаться с компьютерного моделирования.

Таким образом, актуальной является задача компьютерного моделирования межзвездных полетов и разработка на этой основе конструкций, позволяющих осуществить межзвездное путешествие.

К достоинствам компьютерного моделирования межзвездных полетов следует отнести:

- быструю настройку модели на новый объект изучаемого класса и возможность анализа разнообразных физических эффектов;
- возможность оптимизации параметров межзвездного полета.

В настоящее время при моделировании сложных технических систем широкое распространение получают технологии визуального компьютерного моделирования. Применение этих технологий в сочетании с адекватными математическими моделями позволяет исследовать изучаемые процессы в режиме виртуальной реальности, что имеет особое значение, если мы имеем дело с процессами, протекающими в межзвездном пространстве, где надежная регистрация отдельных параметров в ходе натурального эксперимента на данном этапе невозможна.

Целью исследования — создание компьютерной модели межзвездных полетов на языке программирования PascalABC.NET.

Этап 2. Построение модель исследования

2.1. Математический аппарат

Сложность рассмотрения перелета от Солнца к другим звездам с использованием корректировки движения летательного аппарата была связана с подбором адекватной физической модели и математического аппарата.

В процессе подбора математического аппарата для описания движения тел мы остановились на методе Эйлера, как наиболее простом численном методе решения (систем) обыкновенных дифференциальных уравнений. Данный метод был описан Леонардом Эйлером в 1768 году в работе «Интегральное исчисление» [10]. Метод Эйлера является явным, одношаговым методом первого порядка точности, основанном на аппроксимации интегральной кривой кусочно-линейной функцией — ломаной Эйлера.

При составлении модели необходимо учесть, что в нашей системе известны скорости изменения переменных x_1, x_2, \dots, x_N в некоторый момент времени t_0 , и хотим узнать значения в другой момент $t > t_0$

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(t, x_1, \dots, x_N), \dots, \frac{dx_N}{dt} = f_N(t, x_1, \dots, x_N) \quad (1)$$

В обыкновенных дифференциальных уравнениях все переменные x_1, x_2, \dots, x_N являются функциями одной независимой переменной t . Мы будем рассматривать уравнения только с первыми производными по времени (первого порядка), так как уравнение n -го порядка можно свести к системе n уравнений первого порядка.

Обозначим набор наших переменных x_1, x_2, \dots, x_N через X , а набор функций f_1, \dots, f_N через F , тогда систему уравнений можно записать в символическом виде:

$$\frac{dx}{dt} = F(t, X). \quad (2)$$

Мы хотим описать эволюцию системы на промежутке времени от t_0 до $t_1 > t_0$. Совокупность полученных зависимостей всех переменных, входящих в X , от времени называется решением системы. Для того, чтобы решение системы было однозначным, необходимо задать N начальных условий — значений X_0 .

Невозможно знать состояние системы в каждый момент времени, потому что их бесконечно много, а мы будем иметь дело

только с конечными числами. Поэтому разделим выделенный интервал времени (t_0, t_1) на k равных частей и обозначим $\Delta t = (t_1 - t_0)/k$ (хотя приращения Δt не обязательно должны быть равными). Найдем значение $X(t + \Delta t)$ по значениям $X(t)$, проделав эту процедуру необходимое число раз для получения значения $X(t)$ в любой момент времени. Чем меньше Δt , тем точнее будет решение.

Вычислим значения функций $F(t, X(t))$, воспользовавшись методом Эйлера. Если за малый интервал времени Δt эти значения меняются слабо, то приближенно можно считать, что

$$X(t + \Delta t) = X(t) + F(t, X(t)) \Delta t. \quad (3)$$

Метод Эйлера несимметричен, поэтому при продвижении на промежутке $(t, t + \Delta t)$ будем использовать значение производной лишь в его начальной точке. Это приводит к тому, что метод Эйлера имеет первый порядок точности по Δt , то есть погрешность расчетов пропорциональна Δt .

2.2 Физическая модель

В нашей задаче рассматривается гравитационное взаимодействие космических тел (звезд, центра галактики) и звездолета [11]. В основе расчетов лежит метод Эйлера, где в качестве $F(t, X(t))$ используем скорость и ускорение. На каждом шаге по времени Δt приращение скорости тела равно $\vec{a} \Delta t$,

$$\text{где } \vec{a} = \Sigma = \frac{GM}{r^3} \vec{r} \text{ — ускорение,}$$

вызванное взаимодействием тела с остальными телами, а радиус-вектор \vec{r} направлен от тела к другому телу с массой M . Аналогично, приращение радиус-вектора тела равно $\vec{v} \Delta t$, где \vec{v} — скорость тела. Для попадания в сферу Хилла звезды скорость ракеты корректируется: на каждом сотом шаге по времени она меняется на величину

$$d\vec{v} = \varepsilon \left(\vec{r} / t_{\text{перехвата}} + \vec{v}_{\text{звезды}} - \vec{v}_{\text{ракеты}} \right), \quad (4)$$

где $\epsilon \ll 1$ и зависит от мощности двигателя, радиус-вектор \vec{r} направлен от ракеты к звезде, а время перехвата есть отношение расстояния до звезды к максимально возможной скорости, развиваемой космическим аппаратом. Такая регулировка сильно увеличивает расход топлива, но значительно уменьшает время полета, что в нашей модели является приоритетной задачей.

Сфера Хилла — сфера, в которой спутник массивного объекта может удерживать свой спутник. В нашем случае сфера Хилла описывает сферу гравитационного влияния звезды на ракету с учетом возмущения ее траектории под действием центра галактики.

В нашей модели полет звездолета происходит со скоростью около 300 км/с. Для выхода на круговую орбиту с радиусом $R = 10$ а.е. вокруг выбранной звезды скорость космического аппарата не должна превышать значения равного $\sqrt{\frac{GM}{R}}$.

То есть, в нашей модели быть примерно равной 20 км/с.

Если силы гравитации звезды не хватит, чтобы погасить набранную ракетой скорость до скорости, позволяющей выйти космическому аппарату на орбиту вокруг звезды, необходимы будут действия для дополнительного торможения ракеты.

Наиболее простым способом осуществления дополнительного торможения ракеты является использование свойства реактивного движения — выброс отработанного топлива в направлении движения космического аппарата. С каждым выбросом топлива изменение скорости ракеты будет происходить на определенный процент от ее начального значения

$$d\vec{v} = -k\vec{v}. \quad (5)$$

При моделировании траектории движения ракеты в гравитационном поле звезды необходимо учитывать изменение массы космического аппарата в процессе корректировки скорости. Причиной изменения скорости ракеты может быть только сила,

действующая на нее со стороны отработанного топлива — реактивная сила, вычисляемая по формуле:

$$\vec{F}_{\text{реактивная}} = \vec{u} = \frac{dm}{dt}, \quad (6)$$

где dm — изменение массы, u — модуль скорости истечения продуктов реакции.

Применим уравнение Мещерского, из которого получим

$$dm = m_0 \times e \left(\frac{dv}{u} - 1 \right), \quad (7)$$

где m_0 — начальная масса ракеты, dv — изменение модуля скорости ракеты.

Рассчитаем энергетический выход ядерной реакции гелия-3 — стабильного изотопа гелия, и дейтерия — стабильного изотопа водорода, при использовании их как ракетного топлива.



Энергетический выход:

$$Q = (m_1^2\text{H} + m_2^3\text{He} - m_4^4\text{He} - m_1^1\text{p}) c^2 \quad (9)$$

Получим $Q = 18,8$ МэВ. В идеальном случае, вся эта энергия перейдет в кинетическую энергию движения частиц. Тогда оценим, максимально возможную достижимую скорость, в приближении, что энергия между всеми частицами распределилась равномерно:

$$Q = \frac{m_2^4\text{He} v^2}{2}, \quad (10)$$

Получим, что скорость выброса достигает 10% от скорости света. К сожалению, подобную скорость мы не можем получить в реальных условиях, в силу слишком высокой температуры в камере сгорания. Тогда, оценим скорость при температуре 10^7 К — минимальной температуре термоядерной реакции:

$$v = \sqrt{\frac{kT}{m_2^{\text{He}}}}. \quad (11)$$

Получим приблизительно 0.001с, именно это значение скорости истечения мы и будем использовать в нашей программе.

Этап 3–4. Построение алгоритма и составление программы на ЭВМ

Для визуализации расчетов межзвездных полетов был выбран язык программирования PascalABC.NET, позволяющий постепенно переходить от простейших программ к модульному, объектно-ориентированному, событийному и компонентному программированию. Фрагмент кода программы приведен ниже.

```
//Random Star
Rb[2]:= 10 * Rb[1]; // radius of the star
m[2]:= 4 * Msun; // mass of the star
x[2]:= 1.3e4 * light_year; // distance from the star to the galaxy center

y[2]:= 0;
vx[2]:= 0;
vy[2]:= 0.7 * sqrt(G * m[0] / x[2]);
```

Этап 5. Анализ результатов

Наша модель позволяет выбирать характеристики космических объектов (масса, радиус) и параметры орбит космических тел (эксцентриситет, большая полуось, скорость в апоцентре). В качестве цели выбрана звезда с расстоянием в апоцентре 20 тысяч световых лет относительно центра галактики. У Солнца это расстояние 27,7 световых лет. Поэтому примерный путь до звезды составит 7,7 световых лет, что, учитывая разгон и торможение, займет приблизительно 8 млн. лет.

В *таблице 1* приведен анализ полученных расчетов к моменту выхода космического корабля на эллиптическую орбиту вокруг звезды (8,25 млн. лет от начала полета).

Таблица 1

Анализ влияния изменения скорости выброса топлива на отношения конечной массы ракеты к начальной

Отношение скорости выброса газа к скорости света	Отношение массы в начале торможения к начальной массе	Отношение конечной массы к начальной массе
0,0005	0,12	0,01
0,0007	0,21	0,05
0,0009	0,30	0,09
0,001	0,33	0,12
0,003	0,69	0,49
0,005	0,80	0,65

Данные, полученные с помощью нашей программы, демонстрируют, что увеличение скорости реактивной струи при прочих равных условиях позволяет нам увеличивать оставшуюся в конце полета массу, но никак не влияет на время полёта. Это объясняется тем, что максимальная скорость полёта остаётся постоянной, а именно она отвечает за продолжительность полета.

При уменьшении скорости реактивной струи мы тратим больше времени и топлива на разгон космического аппарата до его крейсерской скорости (таблица 2). Аналогично и с торможени-

Таблица 2

Анализ влияния крейсерской скорости ракеты на время полета и отношения массы ракеты в начале полета и в конце

Отношение максимальной крейсерской скорости к скорости света	Отношение скорости выброса газа к скорости света	Отношение массы в начале торможения к начальной массе	Время полёта, млн. лет
0,0005	0,49	0,30	16,07
0,0006	0,47	0,25	13,45
0,0007	0,43	0,21	11,59
0,0008	0,40	0,17	10,19
0,0009	0,36	0,15	9,11
0,001	0,33	0,12	8,25
0,002	0,13	0,02	4,36
0,003	0,05	0,004	3,07

ем, т.к. чем меньше скорость выброса газа, тем меньше импульс, сообщаемый ракете.

Из *таблицы 2* видно, что оставшаяся масса топлива обратно пропорционально зависит от максимальной скорости ракеты. Продолжительность полёта зависит экспоненциально от максимальной скорости ракеты.

Расчет показывает, что траектория звездолета относительно ядра галактики (*рис. 2*) не является эллиптической, поскольку она постоянно корректируется с помощью реактивной тяги для скорейшего достижения цели. На *рис. 2* также представлена траектория движения ракеты в сфере Хилла звезды. Нам удалось выйти на вытянутую эллиптическую орбиту вокруг звезды. Такая орбита позволит не только исследовать территорию около звезды и осуществить подлёт непосредственно к ней, но и изучить её планетную систему.

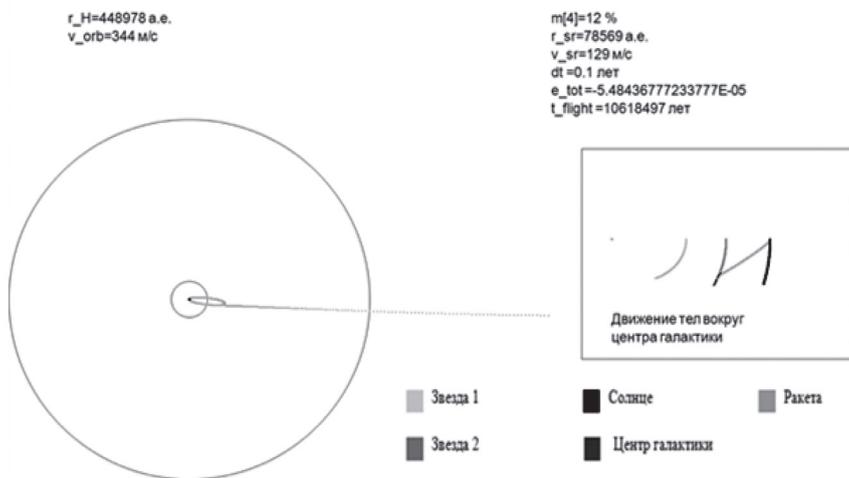


Рис. 1. Пример траекторий тел относительно ядра галактики (в прямоугольнике справа) и траектории звездолёта относительно цели при пересечении сферы Хилла и сферы исследования (слева)

При расчете траектории корабля, мы брали во внимание, то, что корабль будет непилотируемым, так, в нашей модели рассмотрен полет в один конец, осуществляемый в 3 этапа — разгон, движение в крейсерском режиме и торможение. Начало полета осуществляется с околоземной орбиты, далее движение с постоянной реактивной тягой, но переменной длительностью ее включения, для достижения максимальной скорости аппарата. Направление скорости корректируется так, чтобы достичь границы сферы Хилла звезды. На третьем этапе мы производим торможение до достижения ракетой орбитальной скорости в выбранной области.

Для расчета приращения скорости и радиус-векторов объектов, входящих в систему (Солнце, центр галактики, звезды, космический аппарат) мы использовали метод Эйлера. Его погрешность пропорциональна шагу по времени.

Осуществление межзвездного полета — это многоэтапная деятельность по достижению цели. Одним из этапов является разработка компьютерной модели. В нашей работе мы создали упрощенный алгоритм, позволяющий выполнять расчет траектории космического аппарата при движении от одной звезды к другой при быстрой настройке модели на новый объект изучаемого класса, с дальнейшей возможностью оптимизации параметров межзвездного полета, позволяющей выявить оптимальные технические характеристики космического аппарата.

Таким образом, организация проектной деятельности обучающихся на межпредметной основе информатики, математики, физики позволяет рационально сочетать теоретические знания и применять их на практике для решения конкретных задач и проблем, что было проиллюстрировано нами на примере реализации проекта «Моделирование межзвездных полетов».

Участие обучающегося в проектной деятельности позволяет ему научиться постановке проблемы, поиску ее решений, подробному анализу и оценке конкретного решения [12].

Проектная деятельность помогает раскрыть творческий потенциал обучающегося при реализации навыков программирования, полученных на уроках информатики, в процессе разработке компьютерной модели межзвездного полета средствами PascalABC.NET, позволяющей наглядно представить траектории тел (центра галактики, Солнца, двух звезд, ракеты) относительно ядра галактики и траектории звездолета относительно цели при пересечении сферы Хилла, а также получения зависимости времени полета и оставшейся массы топлива от максимальной крейсерской скорости ракеты и скорости истечения топлива. ■

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шефер О. Р., Лебедева Т. Н., Мокляк Д. С.* Подготовка педагогических кадров к организации проектной деятельности школьников при обучении физике: монография. Челябинск: Южно-Уральский научно-образовательный центр РАО, 2020. 248 с.
2. *Knoll M.* «I Had Made a Mistake»: William H. Kilpatrick and the Project Method. *Teachers College Record*. 2012. 114(2). Pp.1-45.
3. *Sutinen A.* Two Project Methods: Preliminary observations on the similarities and differences between William Heard Kilpatrick's project method and John Dewey's problem-solving method. *Educational Philosophy & Theory*. 2013. 45(10). Pp. 1040-1053. doi:10.1111/j.1469-5812.2011.00772.x.
4. *Kraineva S. V., Shefer O. R.* On the formation of very competencies in bachelor's degree students using information and communication technologies. *Scientific and Technical Information Processing*. 2017. Vol. 44. № 2. Pp. 94-98.
5. *Мокляк Д. С., Шефер О. Р., Лебедева Т. Н.* Проектная деятельность студентов как основа продуктивного обучения в вузе // *Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета*. 2019. № 5. С. 114-130.
6. *Гейн А. Г., Житомирский В. Т., Линецкий П. В., Сапфир М. В., Шолохови В. Ф.* Основы информатики и вычислительной техники:

- Пробный учебник для 10–11 классов средней школы. Москва: Просвещение. 1993. 254 с.
7. Павлова М. Б., Питт Дж. Дизайн-подход как основа обучения. Нижний Новгород: Нижегородский гуманитарный центр. 2000. 286 с.
 8. Перл И. А., Каленова О. В. Введение в методологию программной инженерии: Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2019. — 53 с.
 9. Маркович О. С., Усольцев В. Л. Программные средства компьютерного моделирования в подготовке бакалавров образования по профилю «Информатика» // Информатизация образования — 2014: Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Е. В. Данильчук, А. Н. Сергеев, Н. В. Борисова, С. Н. Касьянов, Л. Ю. Кравченко, К. А. Попов, Е. М. Филиппова. Волгоград: Научное издательство ВГСПУ «Перемена», 2014. С. 154-159.
 10. Эйлер Л. Интегральное исчисление: В 3-х томах. Том 1. Москва: ГИТТЛ. 1956. URL: <http://bookre.org/reader?file=327692&pg=3> (дата обращения: 23.05.2021).
 11. Горина А. Ученые рассказали о перспективах межзвездных перелетов. URL: <https://smotrim.ru/article/1385069> (дата обращения: 23.05.2021).
 12. Lebedeva T. N., Shefer O. R., Nosova L. S., Erentraut E. N., Pogozin S. A., Goryunova M. V. The solution of economic quasi-professional problem by means of mathematical modelling. In: 35th IBIMA International Conference. Seville, Spain: International Business Information Management Association (IBIMA), 2020. Pp. 13394-13407.