

## ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

Резунов М.В., Минько Д.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Сиротко С.И. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В докладе рассматриваются области пространства-времени и трансформации между областями пространства-времени, связанными с соответствующими системами отсчета. Внимание также уделено проблеме категорий топологических пространств, преобразований друг в друга и самих в себя.

История физики как самостоятельной науки начинается с Галилея, который постулировал, что математика – это именно тот «язык, на котором написана книга природы». Из этого фундаментального принципа следует, что физические понятия существуют в соответствии с математическими понятиями.

Теоретический фундамент классической физики основал Ньютон в XVII в., создав для физики того времени новые математические понятия, называемые сегодня математическим анализом. Физическое пространство ньютоновской физики с точки зрения математики является евклидовым геометрическим пространством. Более двух тысяч лет считались очевидными аксиомы евклидовой геометрии.

На рубеже XIX–XX вв. в физике и математике возник кризис. В физике кризис был связан с созданием двух фундаментальных теорий: общей теории относительности и квантовой теории. В математике аналогичный кризис связывают с развитием неевклидовой геометрии [1].

В современной физике термин «пространство-время» как континуум появился на основании анализа теории относительности Минковским. Данный термин связан с представлением «четырёхмерного» многообразия картины мира, неразрывной взаимосвязанности пространства и времени [2].

В докладе рассматривается модель с областями пространства-времени с разными свойствами и законами и переходами между ними. Переходы представлены в виде топологических трансформаций – обратимых непрерывных преобразований, соответствий свойств и законов одних областей другим [3].

Теоретико-множественное определение топологического пространства формулируется как множество с выделенной системой подмножеств, которая удовлетворяет соответствующим аксиомам. При таком подходе топологические пространства и преобразования рассматриваются отдельно. Теория категорий представляет альтернативный подход, в рамках которого объекты в совокупности с преобразованиями объектов друг в друга и самих в себя образуют категорию. Категория топологических пространств состоит из всех топологических пространств и всех непрерывных обратимых преобразований пространств друг в друга и самих в себя [1, 3].

В докладе рассматривается пространство-время как категория, в которой область пространства-времени и связанная с ним система отсчета является объектом, а трансформация – морфизмом. Основное внимание уделено именно трансформациям [4].

Всевозможные трансформации можно разделить на три вида: пространственные, временные и пространственно-временные. Временные трансформации могут быть описаны с помощью отображения переменной времени:  $T_1 \rightarrow T_2$ . В качестве примера можно привести замедление в  $k$  раз, нелинейное изменение скорости течения времени, остановку времени, течение времени вспять.

Пространственные трансформации связаны со всевозможными обратимыми преобразованиями пространства. К ним относятся три простейшие пространственные трансформации, соответствующие простым матричным преобразованиям: смещение, поворот и масштабирование. В общем случае пространственные преобразования могут быть описаны с помощью биекций трех переменных пространства:

$$f(x, y, z): X \leftrightarrow Y.$$

Пространственно-временные трансформации отражают взаимосвязь и взаимозависимость пространства и времени и могут быть заданы всевозможными обратимыми преобразованиями. Пространственно-временные преобразования являются самыми общими преобразованиями и могут быть представлены как биекции четырех переменных пространства и времени:

$$f(x, y, z, t): X \leftrightarrow Y.$$

Основной целью данной научной работы является изучение трансформаций областей пространства-времени, а также рассмотрение с точки зрения категорий. Ставится задача применения результатов исследования на практике, разработка теоретической базы и алгоритма для трансформаций областей пространства-времени виртуального мира, создание движка и на его основе – приложения, реализующего алгоритм.

В практической части исследования разработан движок и игровое приложение. Движок реализован на языке программирования C++ с использованием Qt Framework для оконной оболочки. Движок использует прямые вызовы OpenGL, что предоставляет широкий спектр возможностей: эффективное управление ресурсами и производительностью, создание программируемого конвейера обработки графической информации с помощью вершинных и фрагментных шейдеров.

Движок может быть разделен на две составляющие: основную часть, разработанную на C++, и графическую часть, разработанную на OpenGL Shading Language (GLSL). Основная часть реализует следующие задачи:

- 1) ядро движка;
- 2) передачу данных в графическую часть на выполнение шейдеров;
- 3) взаимодействие с файловой системой, управление ресурсами;
- 4) физику игрового мира.

Графическая часть в свою очередь отвечает за:

- 1) формирование конвейера обработки графической информации;
- 2) отображение объектов в преобразованном пространстве;
- 3) вывод изображения на экран.

На основе игрового движка создано интерактивное приложение, реализующее алгоритм преобразований пространства-времени. Реализованы простейшие пространственные трансформации: смещение, поворот и масштабирование, а также более сложное – спиралевидное вращение. Спиралевидное вращение представляет собой вращение вдоль оси, при этом угол вращения прямо пропорционален расстоянию от наблюдателя до точки пространства.

На рисунке 1 представлено положение наблюдателя, который находится в исходном, не трансформированном пространстве. Затем, при перемещении наблюдателя вперед, пространство постепенно расширяется по оси X, что продемонстрировано на рисунке 2. При дальнейшем движении наблюдателя вперед пространство подвергается трансформации спиралевидного вращения, что видно на рисунке 3. На рисунке 4 показан взгляд из центра сцены в сторону, обратную взгляду на предыдущих рисунках 1–3.



Рисунок 1 – Исходное пространство



Рисунок 2 – Растянутое пространство



Рисунок 3 – Спиралевидная трансформация

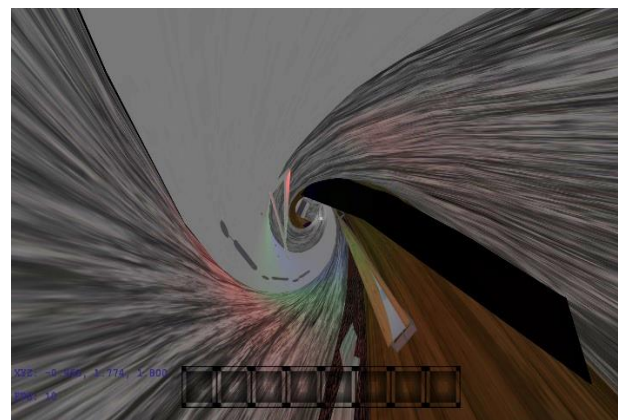


Рисунок 4 – Взгляд в обратную сторону

**Список использованных источников:**

1. Родин, А. В. Теория категорий и поиски новых математических оснований физики / А. В. Родин // Вопросы философии. – 2010. – №7. – С. 67–81. URL: [http://vphil.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=164](http://vphil.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=164).
2. Андреев, В. М. Проблема континуума «Пространство – время» / В. М. Андреев // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Философия. Социология». – 2008. – Т. 21 (60), №2. – С. 52–60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-kontinuuma-prostranstvo-vremya>.
3. Монастырский, М. И. Бернхард Риман. Топология. Физика / М. И. Монастырский. – М. : Янус-К, 1999. – 184 с.

*57-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, Минск, 2021*

4. Кондратьев, Г. В. Возможные применения теории категорий в информационных науках / Г. В. Кондратьев // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2013. – №2 (99). С. 339–345. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnyye-primeneniya-teorii-kategoriy-v-informatsionnyh-naukah>.