

Исполнитель: Петрухин Павел

Заказчик и научный руководитель: С. В. Репин, сотрудник отдела теоретической астрофизики Астрокосмического центра ФИАН

Консультант: Завриев Н. К.

Динамика шарового звездного скопления

ГБОУ «Школа № 1533 (ЛИТ)»

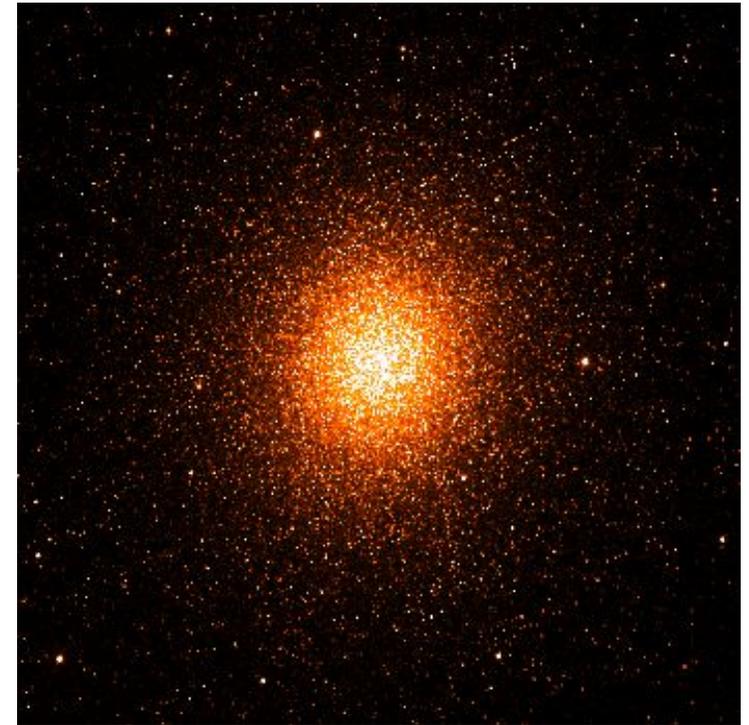
Специальность:

программирование

Москва - 2018

Объект и предмет исследования

- Шаровое звездное скопление – это звёздное скопление, содержащее большое число звёзд, тесно связанное гравитацией и обращающееся вокруг галактического центра в качестве спутника
- Большая плотность и близкие прохождения
- Явление испарения шаровых звездных скоплений
- Предметом исследования является созданная в ходе работы над проектом компьютерная модель шарового звездного скопления



(Omega Centauri)

Актуальность и целевая аудитория

Целевая аудитория:

- Для сотрудников научных учреждений программная модель является инструментом для изучения эволюции шаровых звездных скоплений на протяжении астрономических интервалов времени

Актуальность:

- Невозможность изучения динамики шаровых звездных скоплений с помощью наблюдения за реальными системами звезд
- Расчет эволюции шарового звездного скопления без упрощений
- Возможность использовать программную модель как учебное пособие для демонстрации закона Тяготения Ньютона в старшей школе и высших учебных заведениях

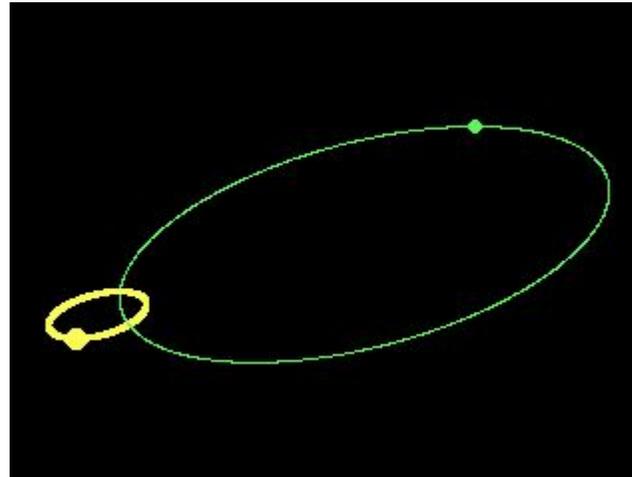
Постановка задачи

Создать программное обеспечение способное без упрощений выполнять расчет эволюции шарового звездного скопления. ПО должно быть способно визуализировать положения звезд в пространстве.

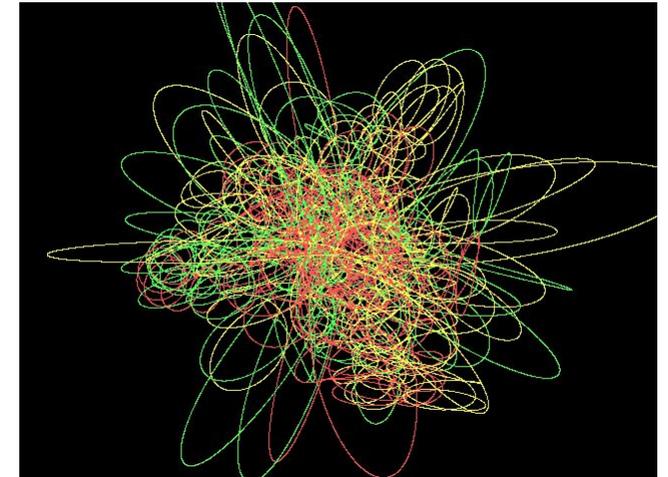
- Создать алгоритм интегрирования уравнений движения тел, принимая гравитационную задачу N – тел как физическую модель
- Реализовать его в виде DLL на языках Fortran и CUDA
- Визуализировать полученные данные
- Создать пользовательский интерфейс
- Исследовать звездные скопления с помощью данного ПО

Гравитационная задача N тел

В пустоте находится N материальных точек, для каждой из которых известны начальные параметры: масса, координаты в пространстве, скорость. Требуется определить скорости и положения всех тел в определенный момент времени, если их взаимодействие описывается законом Тяготения Ньютона и силы гравитации аддитивны.



$N = 2$



$N = 3$

Математическая модель

Эволюция системы N гравитирующих тел (материальных точек) описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{\Delta \vec{r}_i}{\Delta t} = \vec{v}_i$$
$$\frac{|\Delta \vec{v}_i|}{\Delta t} = \sum_{j \neq i}^N \frac{G m_j}{R_{ij}^2}$$

r_i - радиус вектор данной точки, v_i - скорость данной точки, Δt – шаг по времени, m_j - масса тела, R_{ij} - расстояние между двумя телами, G – гравитационная постоянная

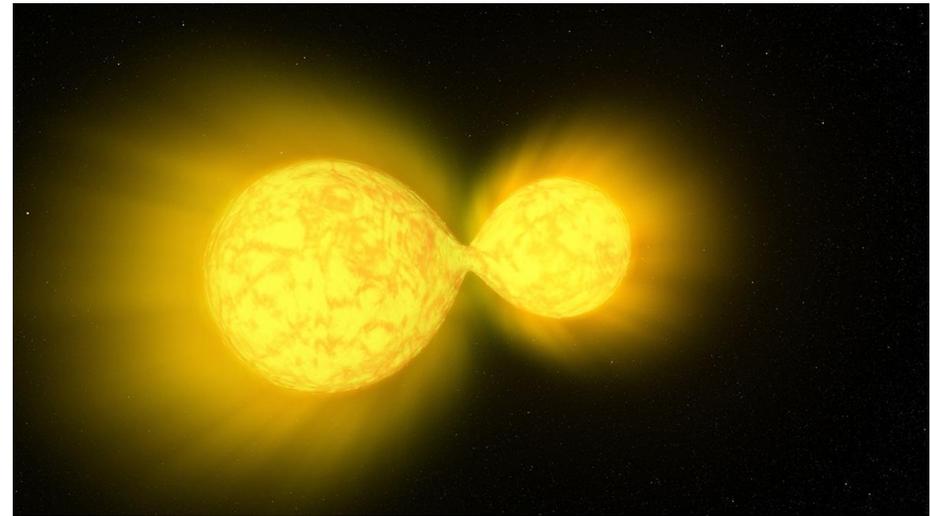
Механизм слияния звезд

- Для расчета параметров результирующей звезды используется приближение о том, что столкновение звезд схоже с абсолютно неупругим столкновением шаров:

- $m_3 = m_1 + m_2$

- $\vec{v}_3 = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_3}$

- $\vec{r}_3 = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_3}$

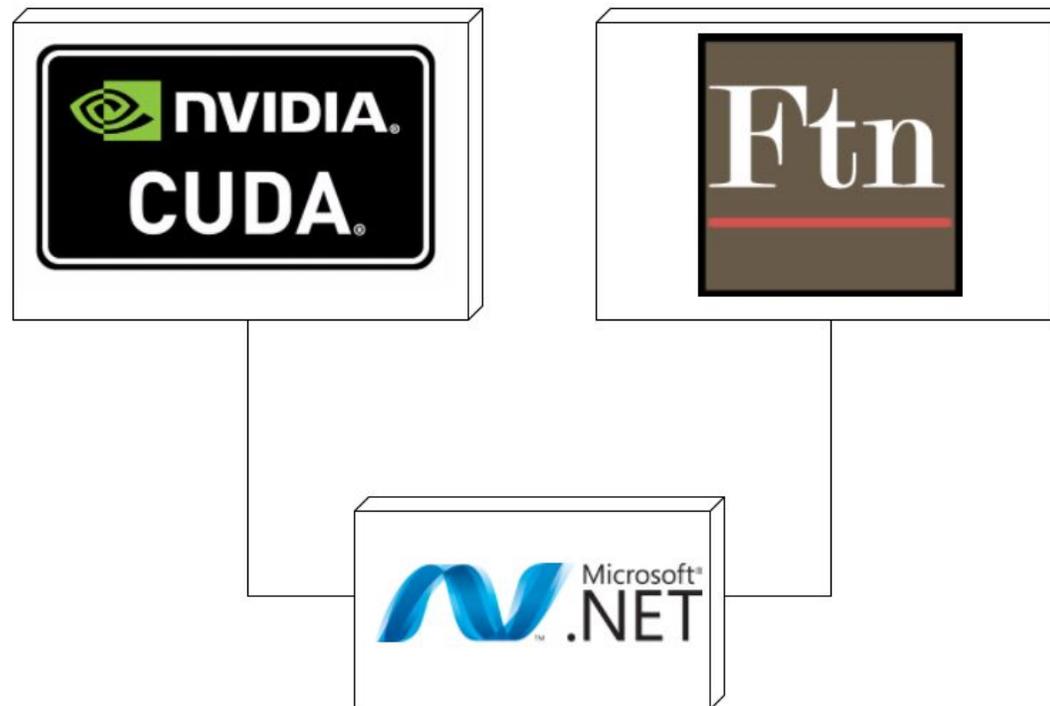


Обзор предшествующих решений

| Название | Решение задачи для произвольного количества тел | Визуализация | Интерфейс пользователя | Решение задачи в пространстве |
|---|---|--------------|------------------------|-------------------------------|
| Численное решение задачи N-тел (Борисов М. Н. СПбГУ) | | | | |
| Задача N-тел на плоскости с SIMD-оптимизацией (Ватутин Э.И) | | | | |
| Наша разработка | | | | |

Программная реализация

Вычислительные модули



Визуализация и Интерфейс

Ход работы

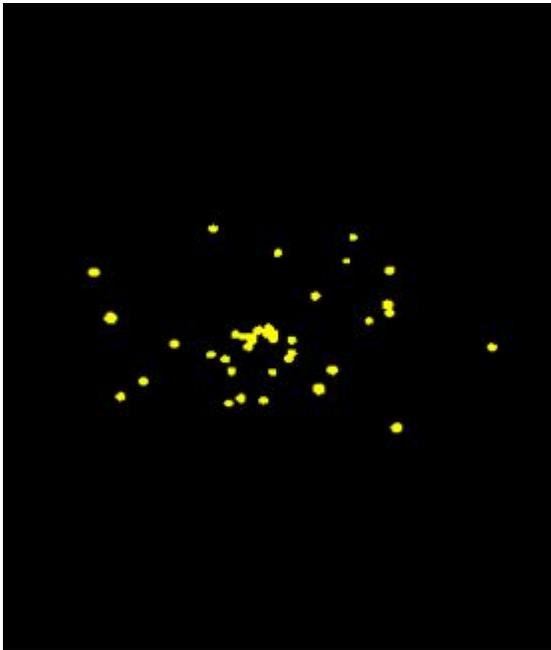
- Написание модуля вычислений на языке Fortran и тестирование его корректности с помощью визуализации в программе MATLAB 2007
- Проблема соединения языков C# и Fortran. Решение – выделение функций на Fortran в отдельную DLL
- Создание пользовательского интерфейса и визуализации. Проблема – мерцание при отображении на экран. Решение – использование двойной буферизации
- Написание вычислительного модуля на CUDA
- Построение физической модели слияния двух звезд
- Изучение динамики звездного скопления с помощью данного ПО

Предварительные результаты

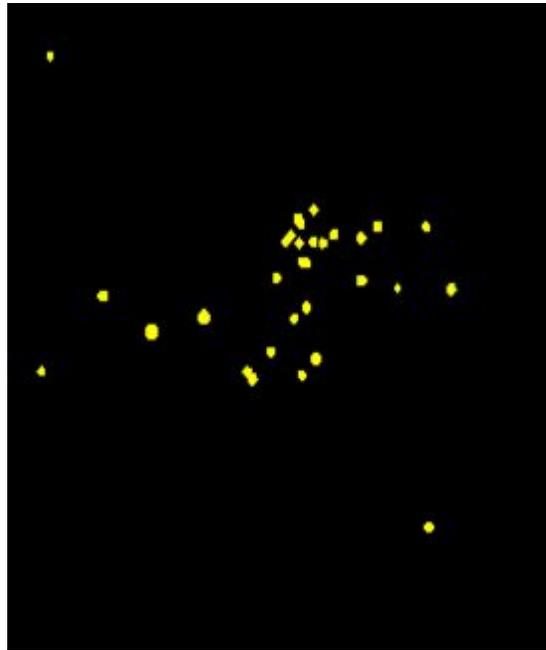
С помощью разработанной программной модели были получены следующие предварительные результаты:

- Подтверждено предположение о том, что среднее расстояние звезд от центра шарового звездного скопления уменьшается при испарении из него звезд
- Получена зависимость количества звезд в системе от времени
- Подтверждено, что для устойчивых шаровых звездных скоплений выполняется теорема о вириале
- Подтверждена гипотеза о том, что у более легких звезд выше вероятность быть испаренными

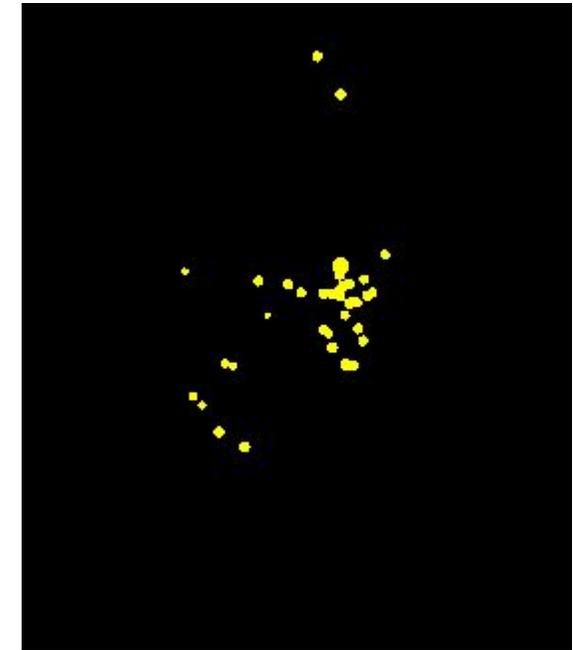
Уменьшение среднего расстояния от центра



Начальная ситуация

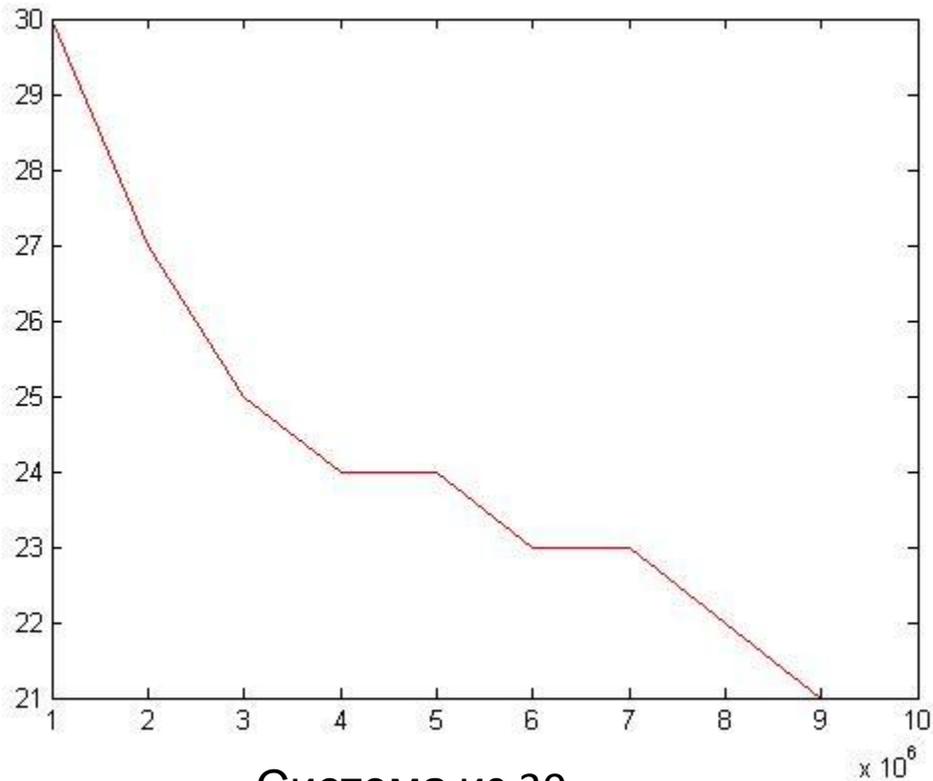


Начало испарения
звезд

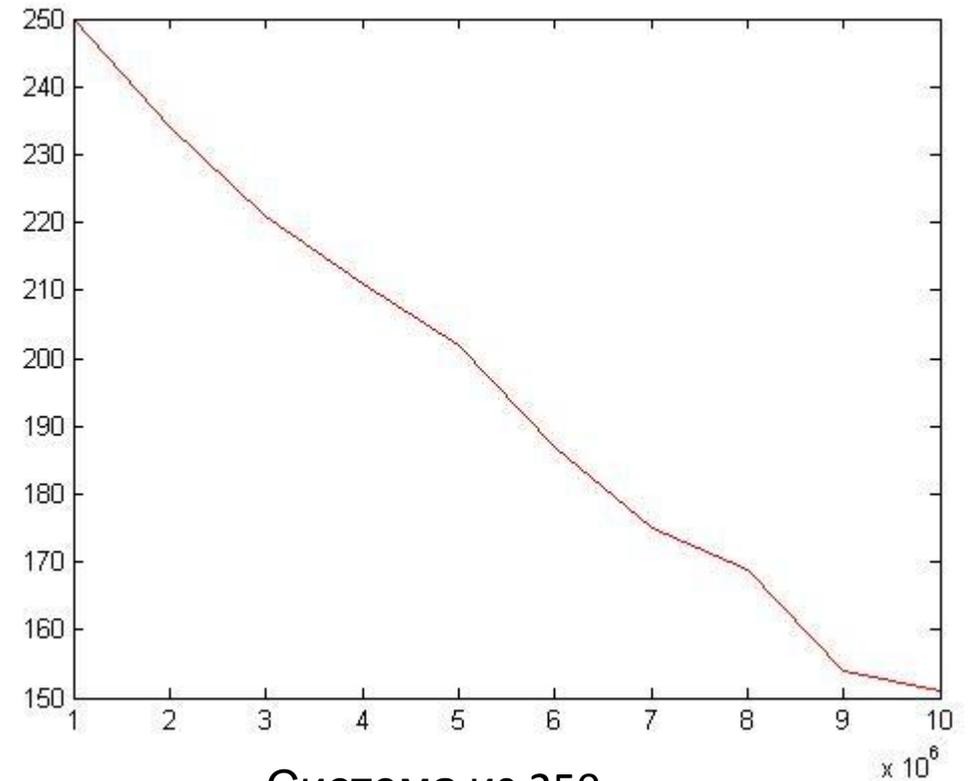


После испарения звезд

Зависимость количества звезд в системе от времени

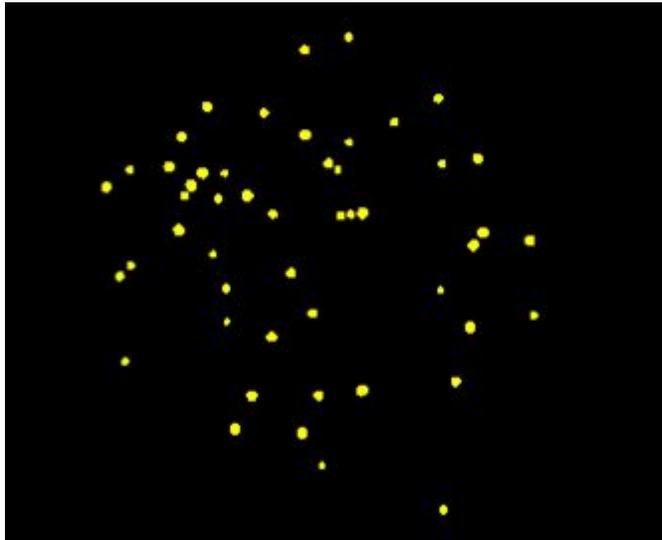


Система из 30
звезд

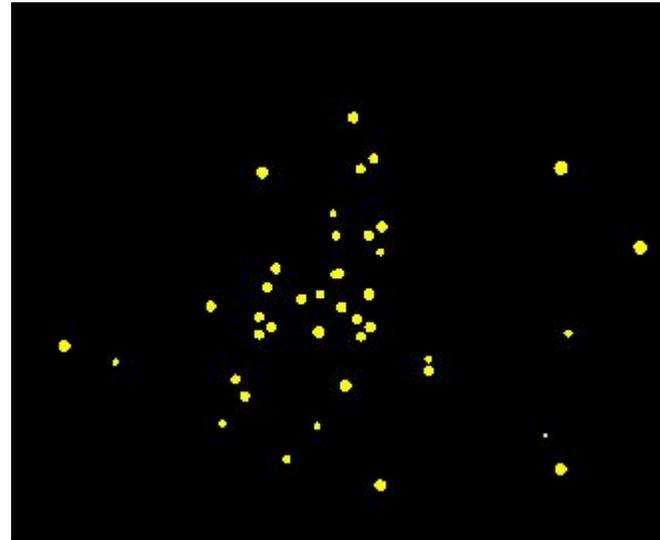


Система из 250
звезд

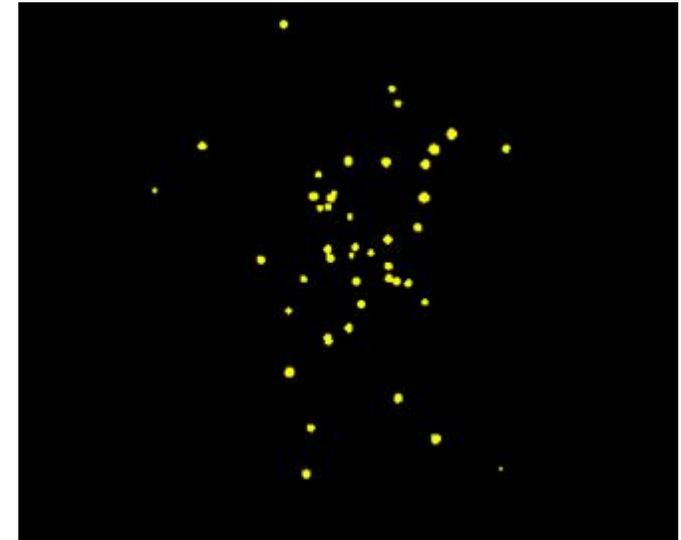
Устойчивость шарового звездного скопления



Начальное состояние



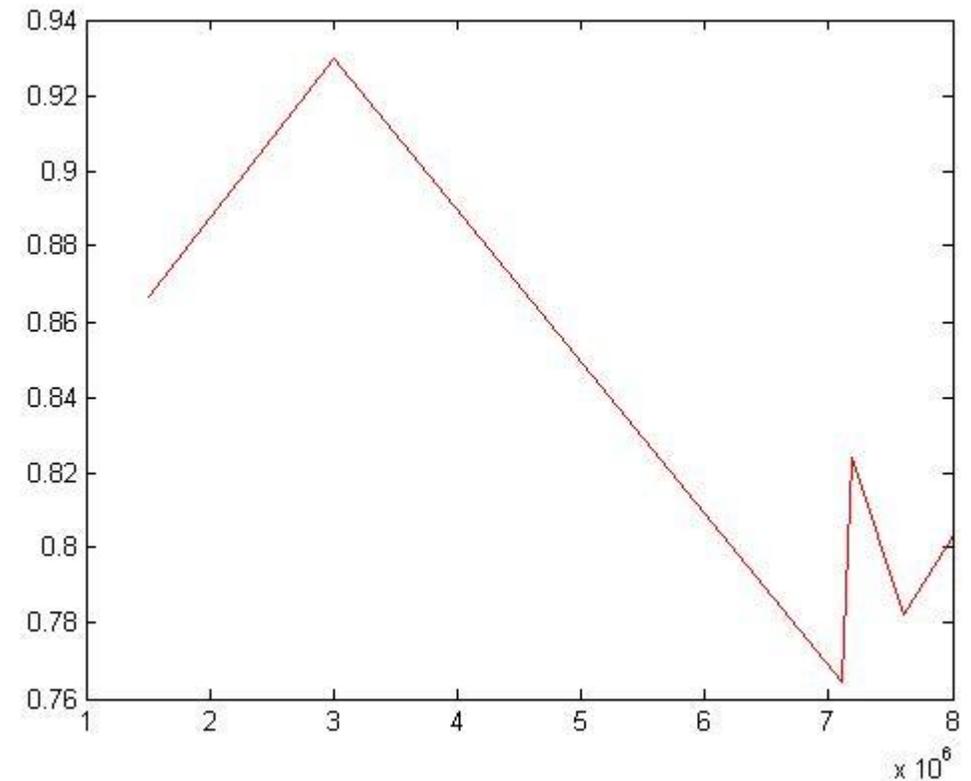
295 тыс. лет эволюции



610 тыс. лет эволюции

Гипотеза об испарении звезд с меньшей массой

- Вертикальная ось обозначает отношение средней массы испаренных звезд к средней массе звезд, оставшихся в системе
- Горизонтальная – время в миллионах лет
- График показывает, что в среднем масса испаренных звезд меньше чем масса тех, которые остались в системе



Перспективы развития исследования

- Построение графика зависимости скорости испарения звездной массы от времени
- Создание вычислительного модуля по технологии Open MP для выполнения вычислений на суперкомпьютерах
- Изучение стадии распада шарового звездного скопления
- Учесть наличие черной дыры в центре шарового звездного скопления
- Рассмотреть зависимость эволюции шарового звездного скопления от его начальных данных

Выводы

- Была создана программная модель, способная с высокой точностью описывать эволюцию шарового звездного скопления
- С помощью программного анализа выходных данных и их визуализации (графики, анимация движения звезд) были получены предварительные результаты, косвенно подтверждающие корректность работы модели
- Были обозначены дальнейшие пути развития исследовательского проекта

Литература и справочные ресурсы

- Орлов В.В., Рубинов А.В. Задача N тел в звездной динамике СПб, ВВМ, 2008, 175 с.
- CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming, Jason Sanders, Edward Kandrot.
- Герберт Шилдт - C# 4.0: Полное Руководство.
- Programming: Principles and Practice Using C++, Bjarne Stroustrup.