

# Влияние звёздных столкновений на стабильные двойные системы

Научный руководитель: Боли Пол, ИНАСАН  
Автор: Магомедэминов Никита, ГАОУ РМЭ “Лицей Бауманский”

## 1. Вступление. Убегающие звёзды

Убегающие звёзды — это такие звёзды, которые движутся с аномально высокой скоростью по отношению к окружающей среде (рис. 1). Скорости могут достигать 200 км/с и более (Gies 1987; Stone 1991). Такие массивные звёзды могут быть обнаружены в изолированных от скоплений или ассоциаций местах. Исторически, Gunn & Griffin (1979) обнаружили 2 быстрые звезды в шаровом скоплении М3, движущиеся со скоростями 17 км/с и −22.9 км/с относительно скопления, что составляет 3.5σ и 4.5σ соответственно (центральная дисперсия скоростей σ = 4.9 км/с). В своей работе я рассматриваю различные исходы тесных сближений звёзд в скоплении М3, в частности образование убегающих из него звёзд. Это звёзды, которые динамически вытеснены из родительского скопления, которые приобрели скорости больше, чем вторая космическая для скопления.

## 2. Выработанный план работы над проектом

- Изучение имеющихся научных статей для понимания изменения представления людей об убегающих звездах со временем. Изучение программной теории для написания кода для моделирования систем. Тесты
- Выбор параметров для моделирования случаев тесного взаимодействия двойных и одиночных звёзд в шаровом скоплении М3
- Проведение итоговых симуляций, оценка вероятности каждого из исходов динамического взаимодействия звёзд, анализ результатов

### 2.1 Изучение литературы и программной теории. Метод

(i) Астрономам всегда была не очень понятна природа звёзд с высокими пекулярными скоростями в скоплениях. Проводилось множество астрометрических исследований для скоплений, собиралась новая информация. В 2000 годах было выделено 2 основных способа формирования убегающих звёзд (Hoogerwerf et al., 2001): вытеснение из родительской группы (скопления, ассоциации) путём динамического попарного взаимодействия звёзд (двойная-двойная, двойная-одиночная); приобретение скорости убегания звездой во время взрыва одной из компонент массивной двойной, как сверхновой. Я исследую сценарий с динамическим взаимодействием звёзд (двойная – одиночная) в шаровом скоплении М3, оцениваю вероятности разных исходов взаимодействия в зависимости от некоторых параметров.

(ii) Для решения задачи симуляции динамической системы требуется программный код. С физической точки зрения, происходит симуляция закрытой системы, а значит суммарный импульс и энергия сохраняются. Начальные условия этой системы (масса компонент, расстояния и скорости в трёх проекциях), а также временной шаг и количество шагов моделирования определяются в программе перед расчётом. В ходе выполнения программы необходимо постоянно решать дифференциальные уравнения для ускорения и скорости, спроецированных на каждую ось (рис. 2).

(iii) Для отладки и тестов кода я моделировал Солнечную систему (рис.3, рис.4). Задав все нужные начальные параметры, проведя симуляции, я убедился в работоспособности кода.

### 2.2 Выбор параметров для моделирования. Метод

(i) В шаровом скоплении можно считать звёзды в центре связанными как двойные системы. Для упрощения двойная система состояла из одинаковых компонент, с массами 1 солнечная, вращавшихся по круговым орбитам. Как уже было сказано, я симулировал сближения двойной звезды с одиночной. Двойная взаимодействовала с 4-мя типами объектов с массами: 1, 1.4, 6, 10 солнечных (звезда, подобная компонентам двойной; нейтронная звезда; массивная звезда; массивный объект соответственно). Я взял общие данные распределения больших полуосей двойных звезд, из них выбрал наиболее частые значения: от 0.1 до 10 а.е. Из этого интервала были отобраны равномерно логарифмически 10 значений. Для каждого значения проведено по 100 симуляций, в которых менялись параметры одиночной звезды (рис.5): прицельный параметр b (равномерное распределение) и скорость V (нормальное распределение, значение дисперсии – дисперсия скоростей в скоплении).

### 2.3 Проведение симуляций. Анализ результатов

(i) Было выделено всего 3 различных исхода взаимодействий (рис.6): пролёт одиночной звезды мимо, без разрушения двойной системы; вылет одной из компонент со скоростью, меньшей скорости убегания для скопления; вылет одной из компонент со скоростью, большей второй космической скорости для скопления (потенциальная убегающая звезда).

(ii) Анализируя графики вероятностей, показывающие долю каждого исхода для каждого значения большой полуоси, видно, что при столкновениях двойной с объектами схожих масс (1, 1.4 солнечных; рис.7), с увеличением большой полуоси двойной, а значит и прицельного параметра одиночной, возрастает шанс на вылет компоненты со скоростью, меньшей второй космической или на пролёт одиночной мимо двойной.

(iii) Графики вероятностей для столкновений двойной с объектами бóльших масс (6, 10 солнечных; рис.8) показывают, что для таких же распределений прицельного параметра, что и для звёзд меньших масс, доминирующий исход столкновения – образование убегающей звезды.

## 3. Заключение

Таким образом, я провёл новое исследование по динамическому взаимодействию звёзд для скопления М3. Для звёзд более частых (малых) масс получились интересные результаты с изменением вероятности определенного исхода взаимодействия в зависимости от большой полуоси. Для менее частых – бóльших масс результаты более однообразны. Это в свою очередь говорит о том, что динамические взаимодействия звёзд в шаровых скоплениях способствуют образованию звёзд с относительно большими, относительно скопления, скоростями. Взаимодействие с массивным (в данном случае одиночным) объектом может наверняка образовать звезду, вылетевшую из скопления.

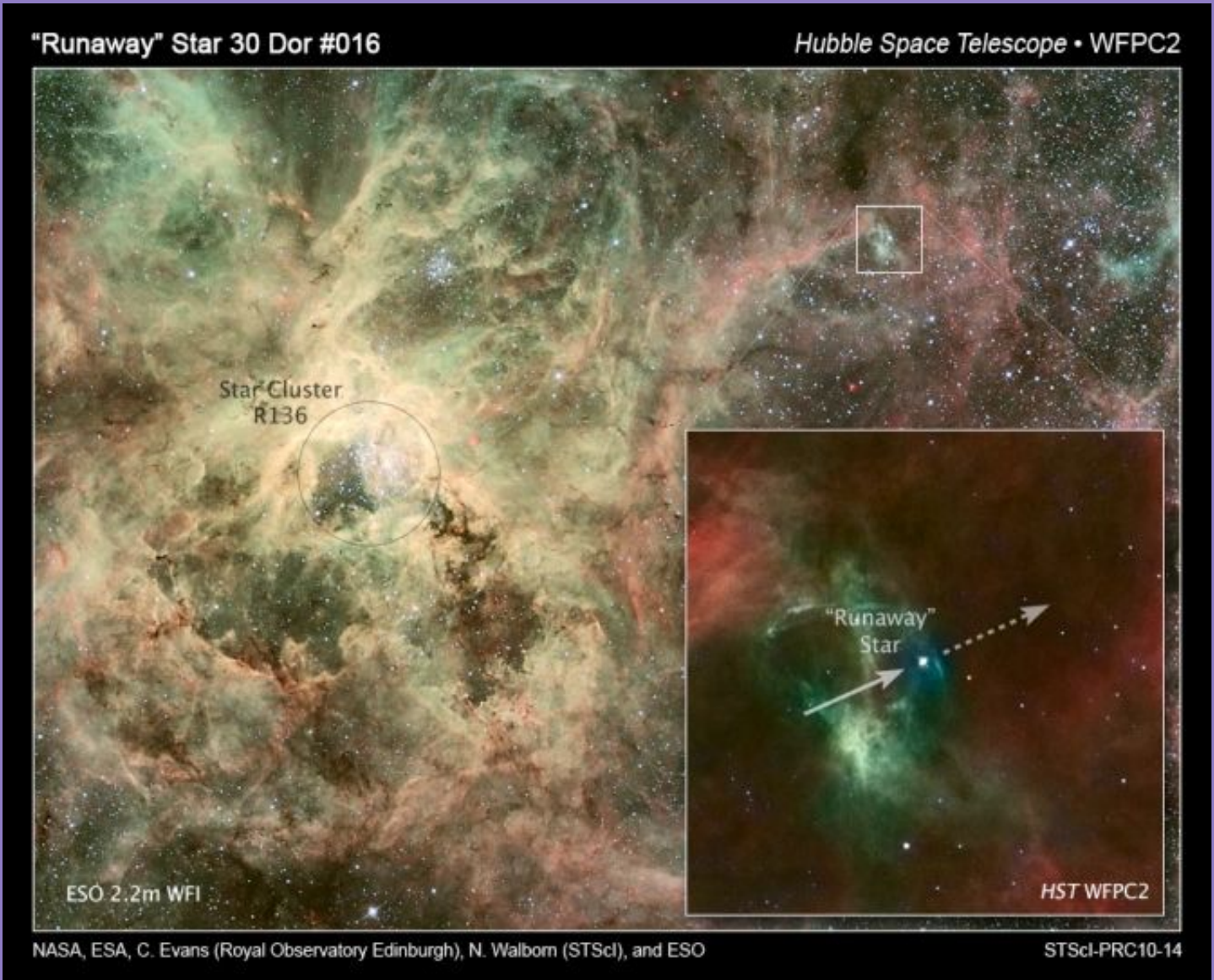


Рис.1: Массивная убегающая звезда, вытесненная из туманности Тарантул

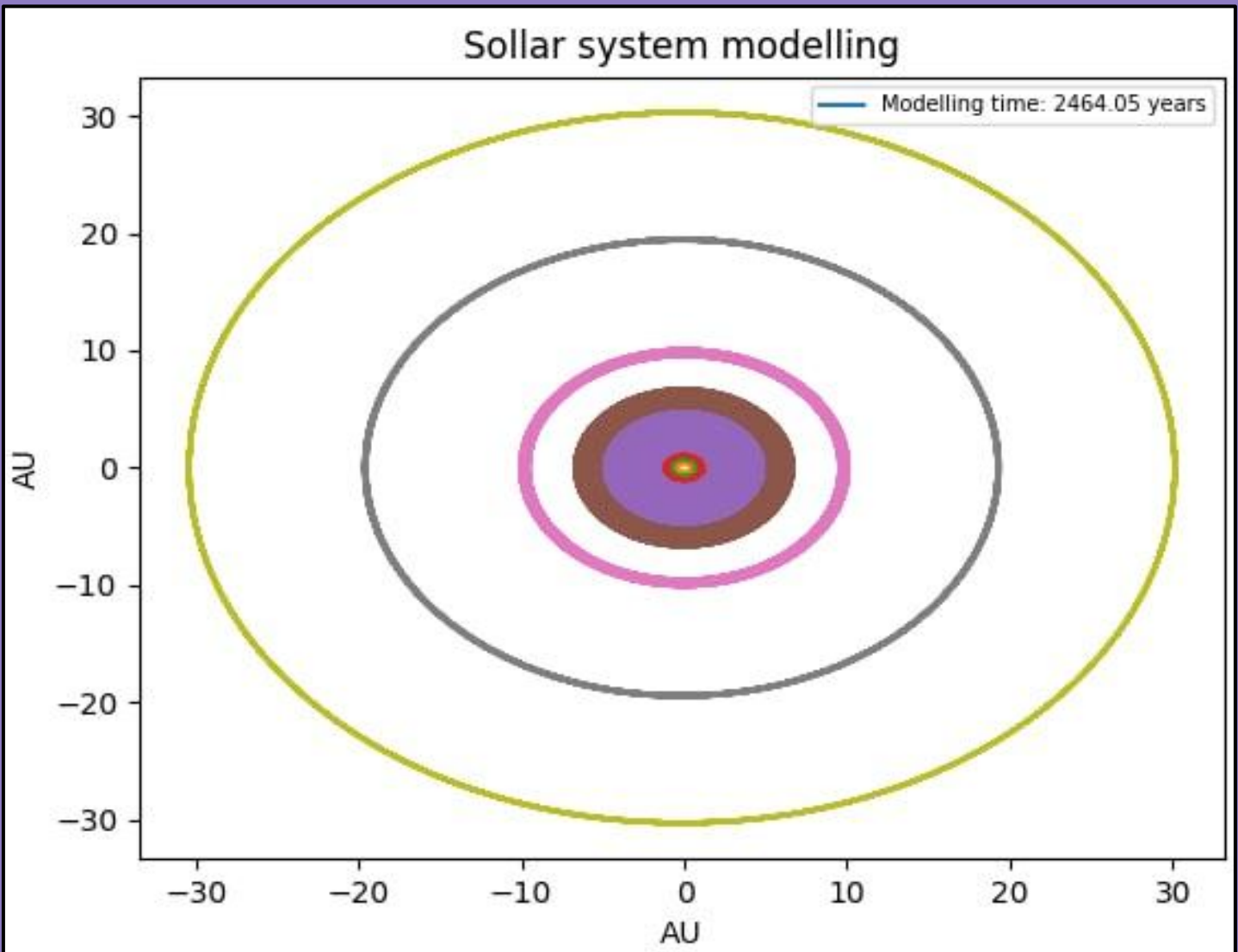


Рис.3: Моделирование Солнечной системы с учётом только гравитации Солнца. Вид до Нептуна

$$b = \sqrt{random(0, 25a^2)}$$
$$V = |N(0, 5.5)|$$

Рис.5: Распределения и выбор прицельного параметра, скорости одиночной звезды для симуляции

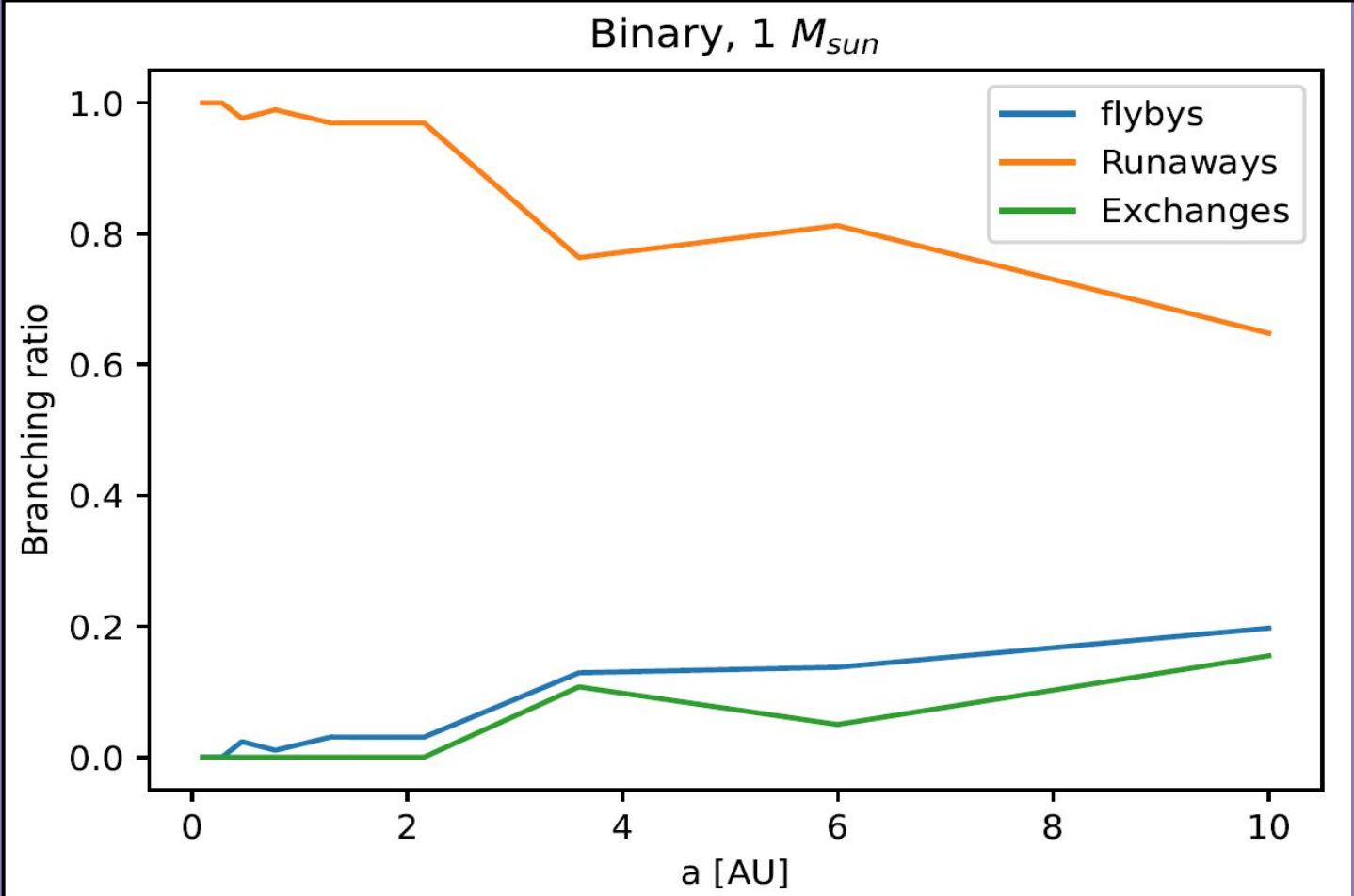
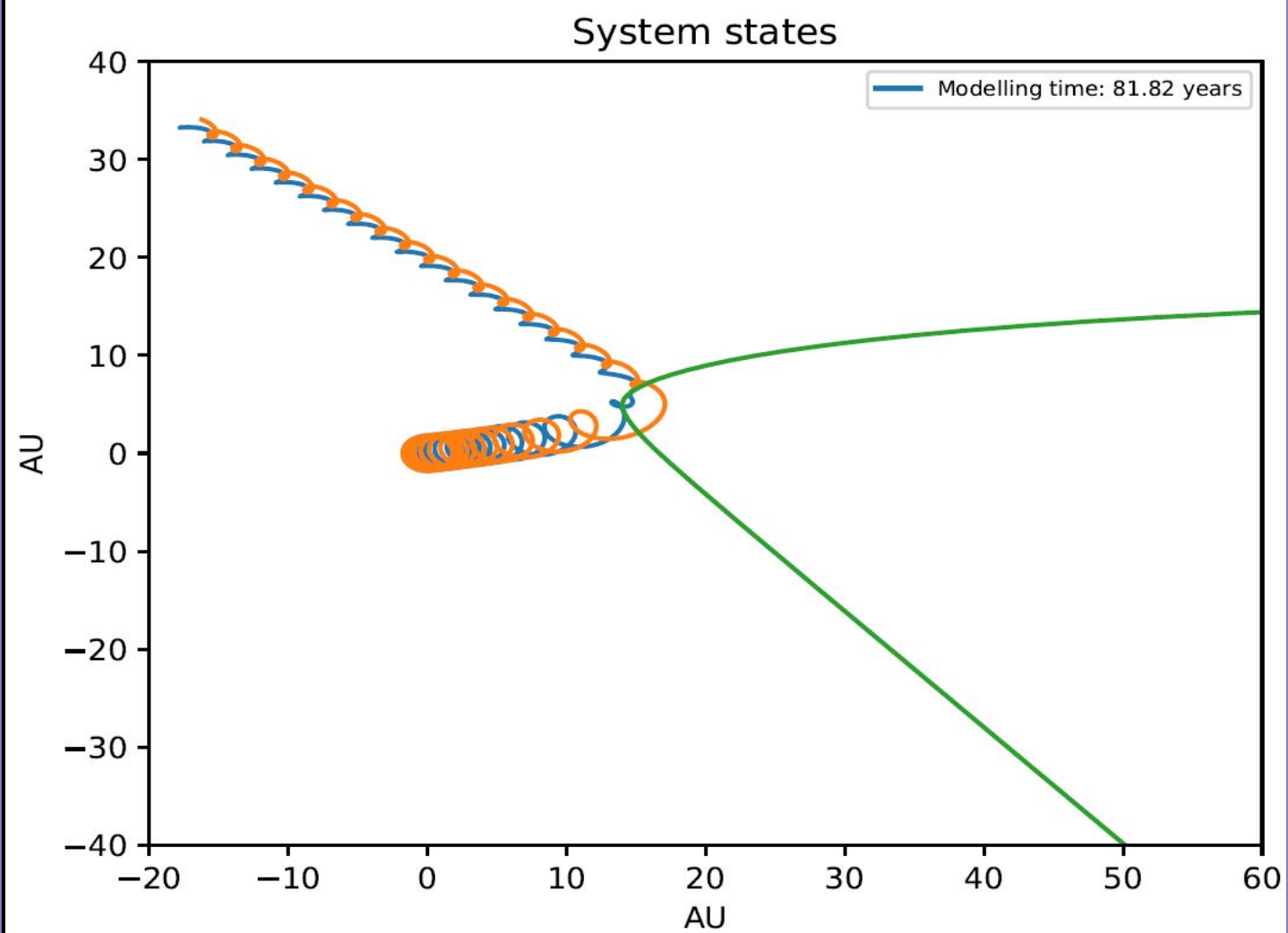
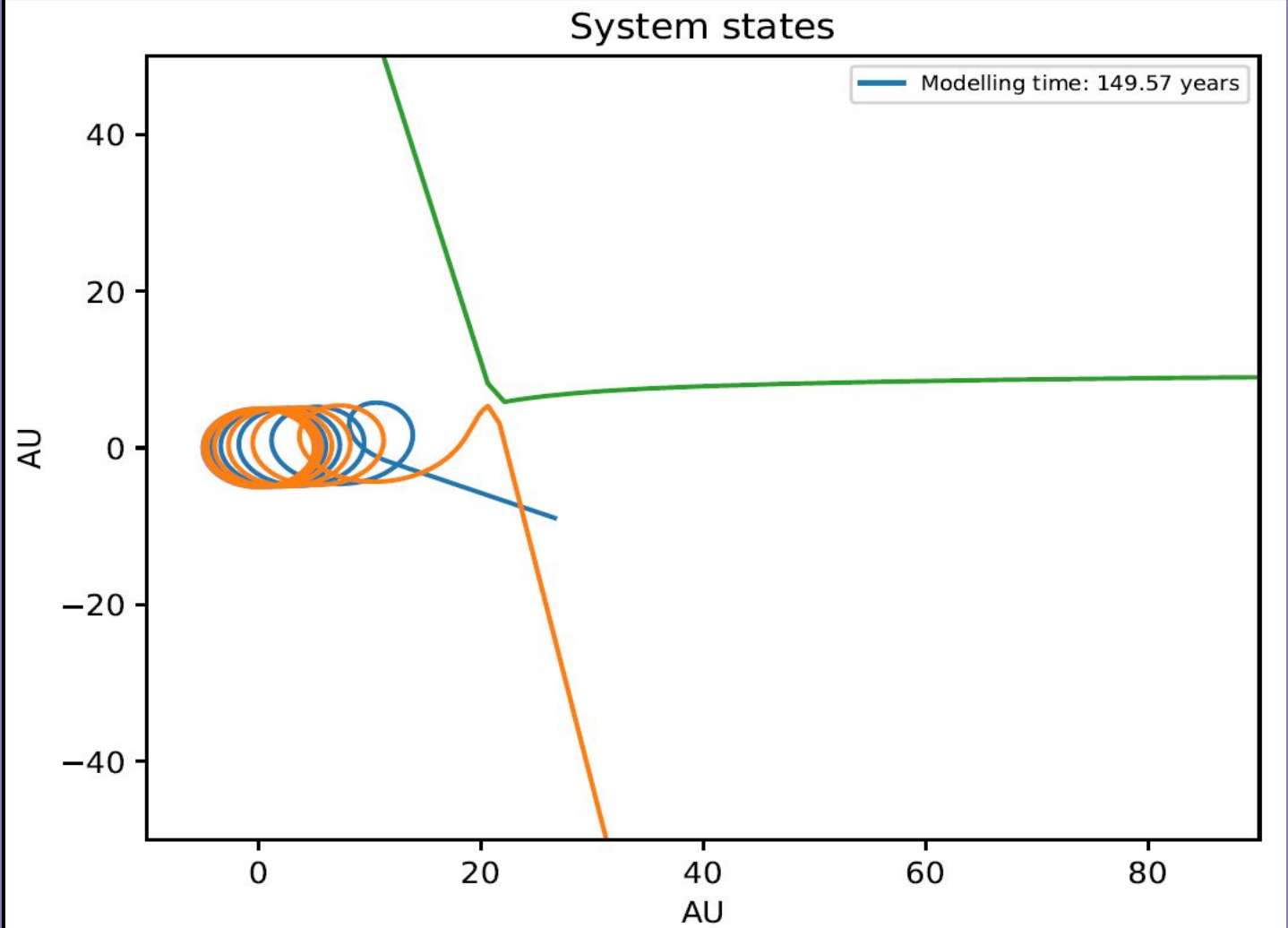


Рис.7: Результаты. Зависимость вероятностей исходов тесного взаимодействия двойной звезды с телами сравнимых масс

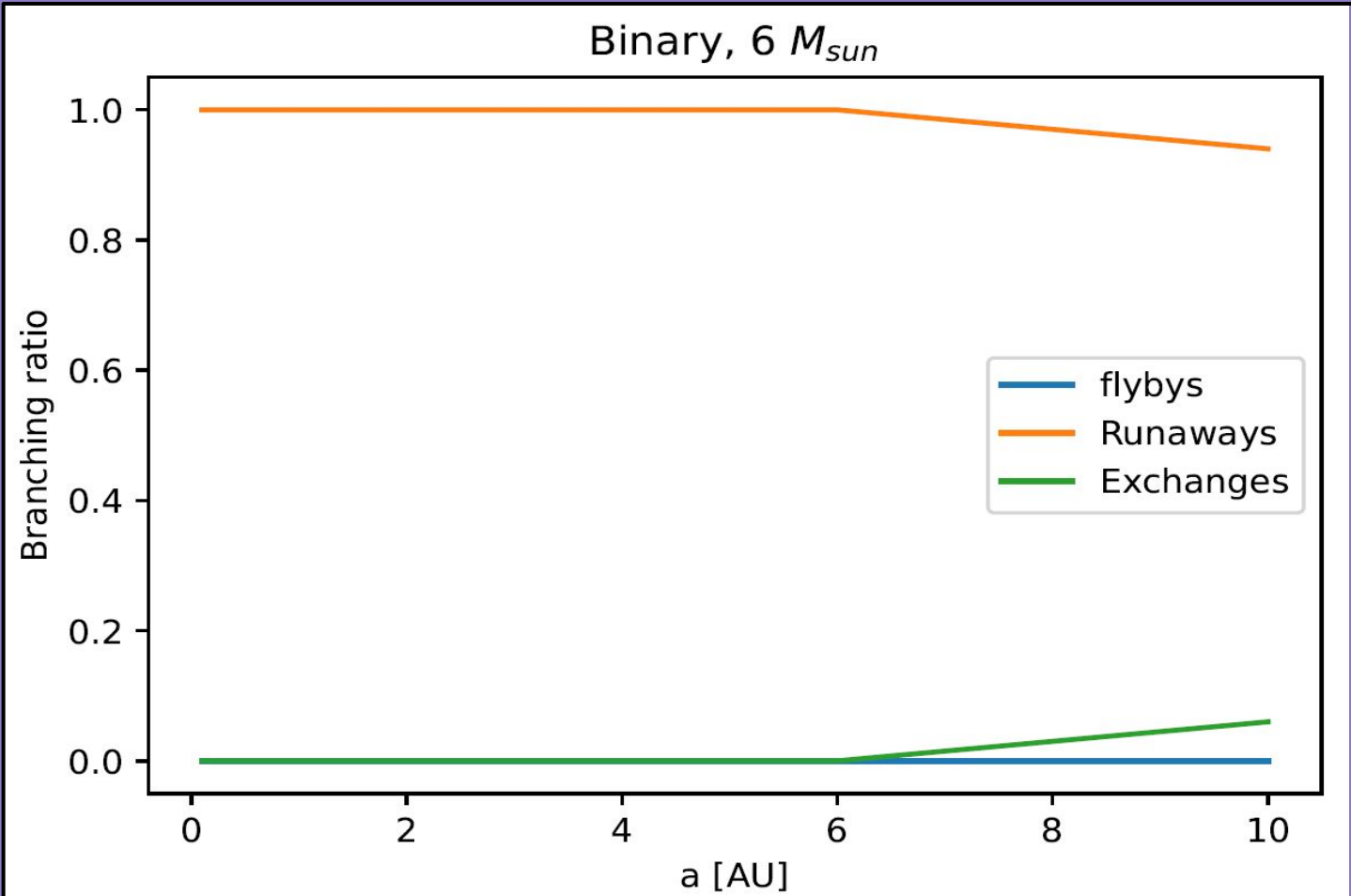


Рис.8: Результаты. Зависимость вероятностей исходов тесного взаимодействия двойной звезды с телами бóльших масс

$$d\vec{v}_i = \frac{\vec{r}_i}{dt}$$
$$m_i * \vec{a}_i = \frac{m_i * d\vec{v}_i}{dt} = -G \sum_{k \neq i} \frac{\frac{m_i * m_k}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|^2} * (\vec{r}_i - \vec{r}_k)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|}$$

Рис.2: Физические уравнения для симуляций

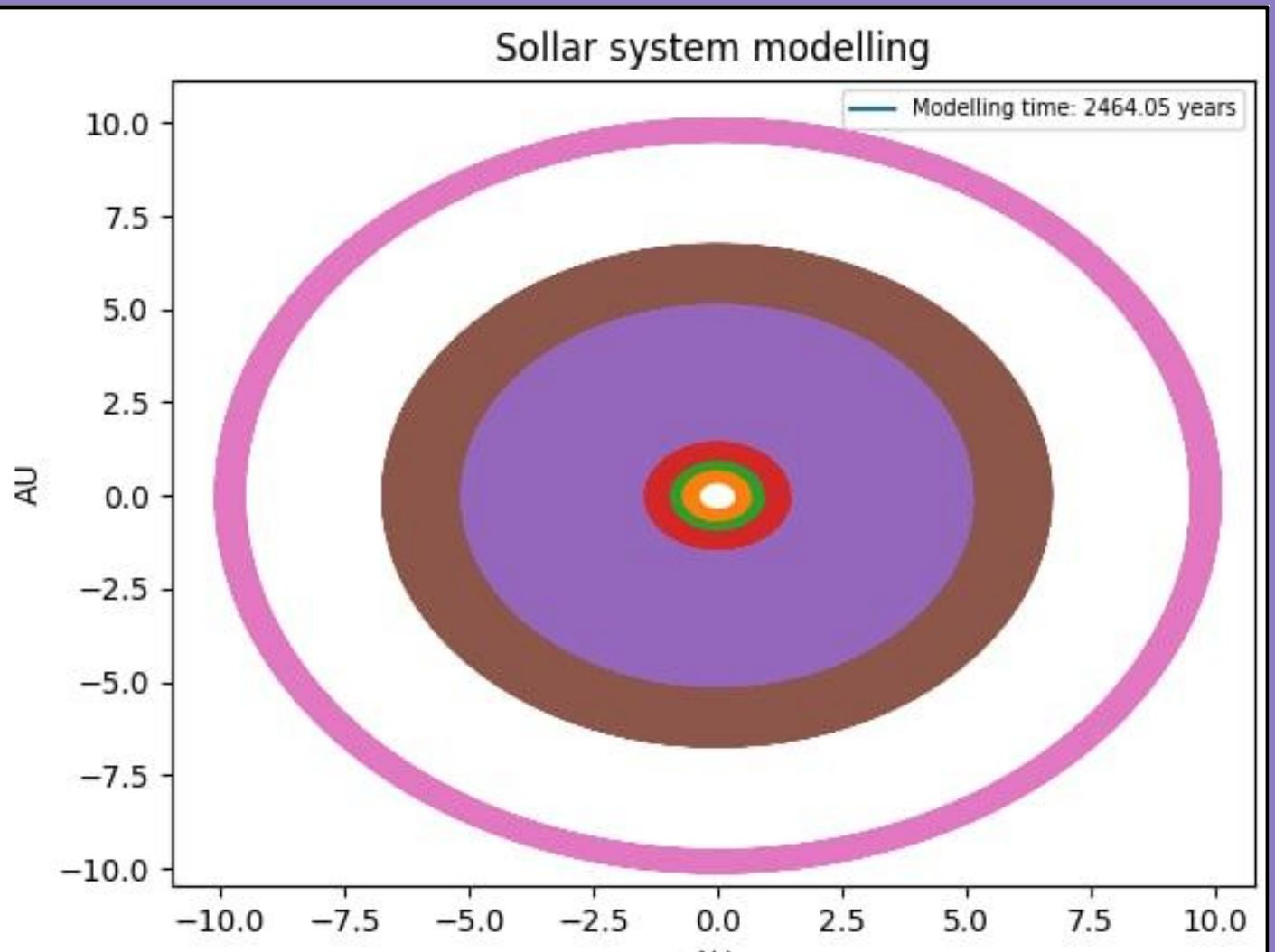


Рис.3: Моделирование Солнечной системы с учётом только гравитации Солнца. Вид до Сатурна

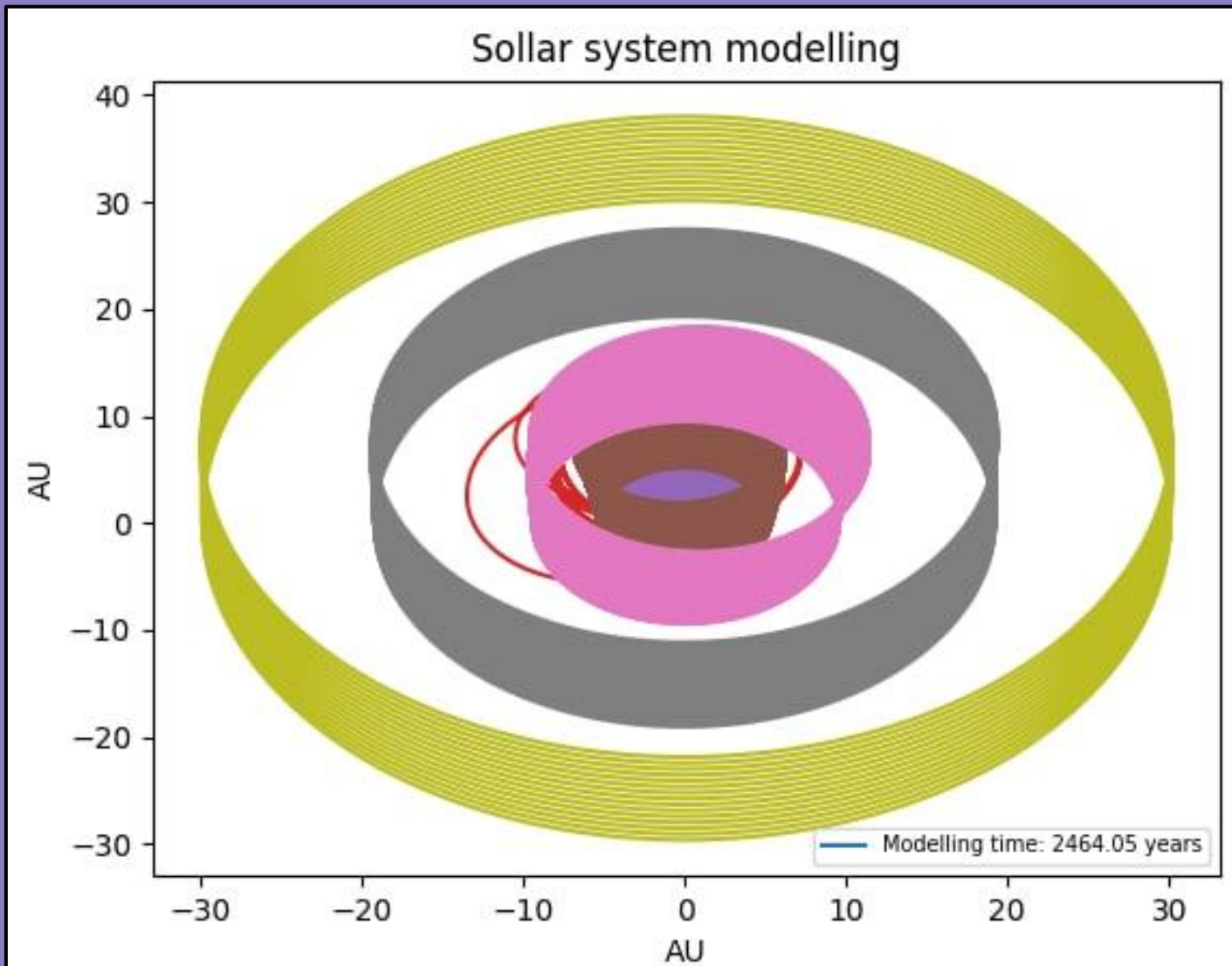


Рис.4: Моделирование Солнечной системы с учётом взаимной гравитации всех тел

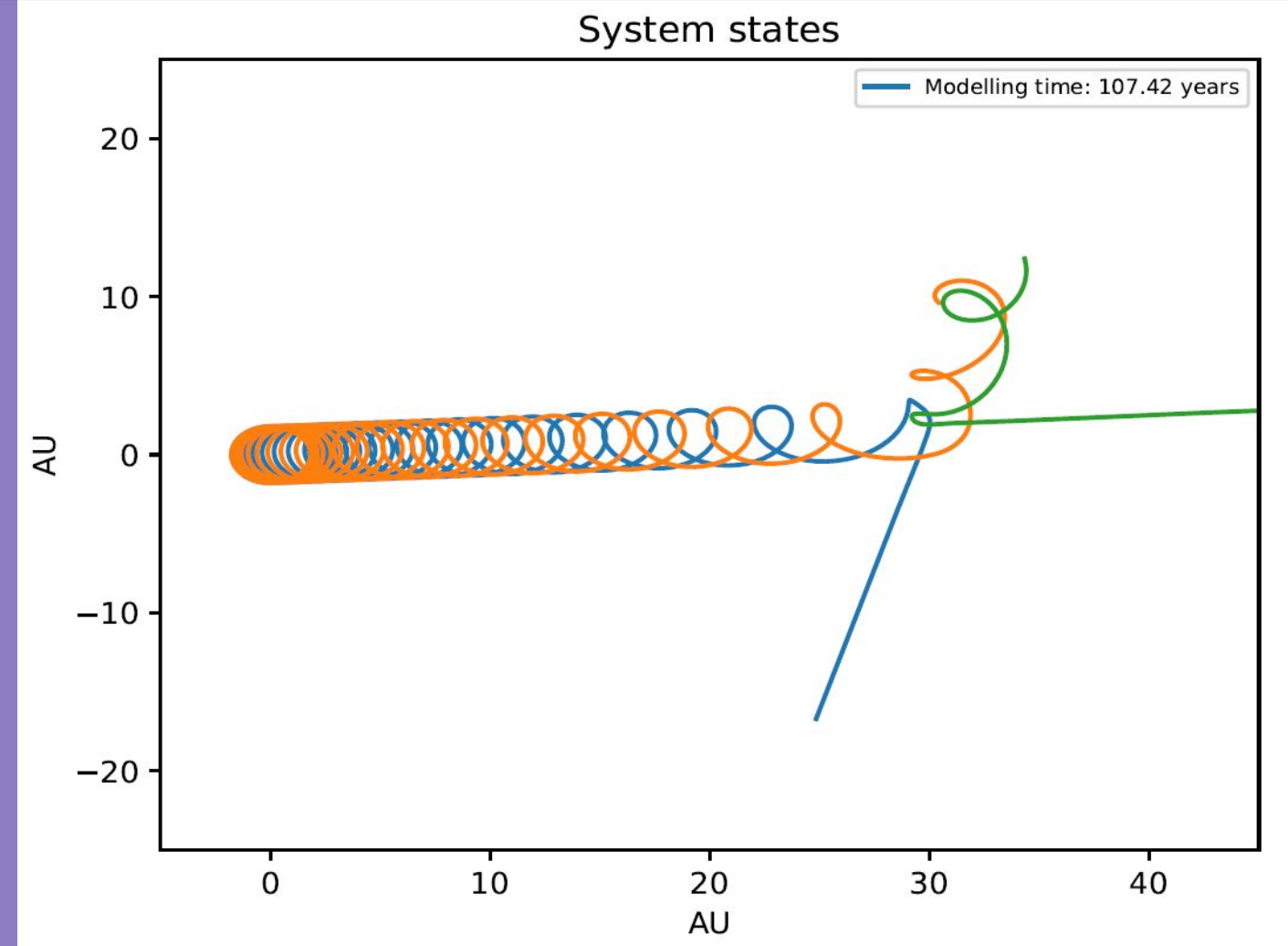


Рис.6: Рассматриваемые исходы тесного взаимодействия звёзд: левый верхний – вылет компоненты двойной со скоростью, большей скорости убегания скопления (убегающая звезда); левый нижний – пролёт одиночной звезды мимо, без разрушения двойной; правый верхний – вылет компоненты двойной со скоростью, меньшей скорости убегания скопления