

Моделирование движения звезды в гравитационном поле двойной черной дыры

С.В.Жуйко¹, В.В.Орлов^{2,3}, К.С.Широкова^{2,3}

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

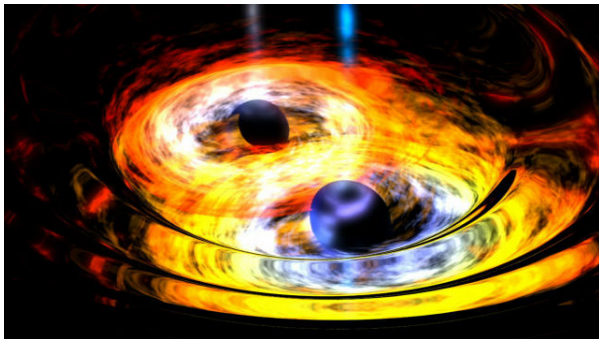
²Главная (Пулковская) обсерватория РАН

³Санкт-Петербургский государственный университет

24 сентября 2015 г.

Постановка задачи

Рассмотрена система из двух сверхмассивных компактных объектов в центре Галактики:
сверхмассивная черная дыра массой $4 \cdot 10^6 M_{\odot}$ и черная дыра массой $10^4, 10^5, 10^6 M_{\odot}$.



Рассмотрены две модели:

- 1) задача двух неподвижных центров (черные дыры считаем неподвижными, звезда движется в поле их тяготения, модель применима на коротких временах);
- 2) общая задача трех тел (все три тела движутся под воздействием взаимного притяжения по закону всемирного тяготения, модель применима на любых временах).

Условия применимости задачи двух неподвижных центров

1. Звезда не должна оказывать заметного гравитационного влияния на черные дыры, т.е. должно выполняться условие

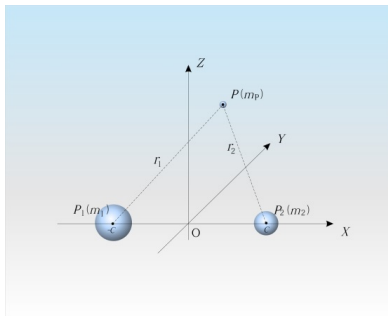
$$M_1 \geq M_2 \gg M_*.$$

2. Интервал времени Δt , на котором рассматривается движение звезды под действием тяготения двойной черной дыры, должен удовлетворять неравенству

$$\Delta t \ll T.$$

Основные параметры

M_1, M_2 - массы черных дыр,
 a - большая полуось орбиты двойной,
 e - эксцентриситет орбиты двойной,
 ρ - прицельное расстояние,
 v - скорость подлета,
 α, ϕ, θ - углы прицельного движения.



Система единиц:

- единица массы $\mu = 10^6 M_\odot$;
- единица длины $d = 0.01$ пк;
- единица времени $\tau = 10^4$ лет;
- единица скорости $\frac{d}{\tau} = 0.9778$ км/с;
- гравитационная постоянная $G = 0.4499 \cdot 10^6$.

Начальные условия:

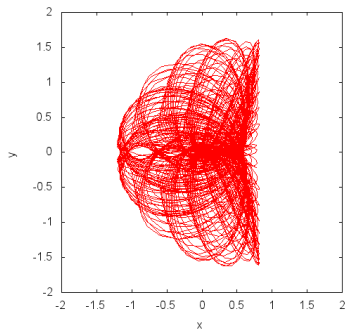
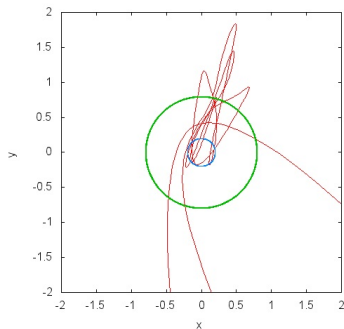
$$M_1 = 4 \cdot 10^6 M_\odot; M_2 = 10^4, 10^5, 10^6 M_\odot; M_* = 10 M_\odot;$$
$$a = 0.01, 0.03, 0.1 \text{ пк}; e = 0, 0.7; v_0 = \sqrt{\frac{G \cdot M_1}{a}}.$$

Таблица: Число уходов за расстояние, равное 1 пк, и число образованных сверхскоростных звезд ($v > 1200$ км/с) в зависимости от параметров задачи при $e = 0$ и $e = 0.7$. Для каждой пары значений a и M_2 рассмотрено 10 000 вариантов.

a	$10^4 M_\odot$	$10^5 M_\odot$	$10^6 M_\odot$
0.01	21/1	2083/310	9341/2682
0.03	36/0	3143/40	9938/407
0.1	95/0	4815/0	9982/0
0.01	22/4	1872/431	8997/2613
0.03	37/4	2917/160	9806/881
0.1	71/0	4412/20	9977/164

Примеры орбит

Пример движения звезды с параметрами $M_2 = 10^6 M_\odot$, $a = 0.01$ пк, $e = 0$ в общей задаче трех тел (слева) и в задаче двух неподвижных центров (справа) с одними и теми же начальными условиями.



- В рамках задачи двух неподвижных центров не удастся сгенерировать сверхскоростные звезды из-за ограничений, связанных с консервативностью этой системы.
- В рамках общей задачи трех тел возможно образование сверхскоростных звезд; частота их появления сильно возрастает с увеличением массы второй черной дыры.
- В рамках общей задачи трех тел доля звезд, достигающих пограничного значения расстояния в 1 пк, уменьшается с ростом тесноты системы, доля сверхскоростных звезд при этом увеличивается.

Спасибо за внимание!