

**Исследование эффектов, возникающих при столкновении массивного объекта с звездным скоплением сферической формы с равномерным распределением массы с применением полуаналитической двутельной регуляризацией в задаче  $N$  тел**

*И.Н.Витка, А.К.Галишиникова, Е.М.Новоселов, С.А.Соловьев, С.А.Чернягин*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Решение задачи многих тел в создаваемом ими гравитационном поле имеет большое значение для астрофизических приложений. Именно задача многих тел является основополагающей при решении различных задач звездной динамики, динамики и эволюции звездных скоплений, галактик и галактических скоплений. Как известно, задача многих тел не имеет точного решения, если число тел превышает 2. Рост числа тел ведет к существенному увеличению требований к вычислительным ресурсам [1]. Известно множество подходов к решению задачи многих тел: прямое интегрирование дифференциальных уравнений движения, решение уравнения Больцмана методом Монте-Карло, Фоккер-Планковское моделирование и т. д. В рамках первого метода одной из характерных проблем является моделирование близких прохождений тел с возможностью образования гравитационно-связных кратных систем [2]. Метод преодоления вычислительных трудностей, связанных с моделированием близких прохождений и образованием тесных пар, рассматривается в данной работе.

При моделировании столкновений массивных объектов с шаровым звездным скоплением был выявлен ряд эффектов, требующих подробного рассмотрения. В частности при лобовом столкновении массивного объекта со скоплением наблюдается его резкое торможение и даже колебания в точке, существенно отстоящей от центра масс системы. Построена эволюция потенциала системы скопление-массивный объект, получено образование плато потенциала в окрестности массивного объекта, позволяющее объяснить устойчивость орбит звезд скопления в окрестности массивного объекта. Также проведено исследование столкновений под различными углами.

В рассмотренном подходе к решению гравитационной задачи  $N$  тел для столкновительных систем использовался метод прямого решения системы дифференциальных уравнений методом Эрмита вкуче с двухслойной схемой Амада-Коэна, см. [1]. Временной шаг интегрирования при таком подходе обычно вычисляют по эмпирической формуле С.Арсетта [1]. Особое внимание в моделировании столкновительной динамики уделяется регуляризации близких прохождений [2]. Для решения данной проблемы часто используют т.н. KS-регуляризацию [2], устраняющую особенность в уравнениях движения. Авторами предлагается иной подход для обработки близких прохождений – метод основанный на переходе к переменным действия для Ньютоновой задачи двух тел [3].

С применением предложенного метода в настоящей работе производится численное моделирование столкновений сферического скопления с равномерным распределением массы скоплений с точечным массивным объектом (черной дырой) средней массы в 10000 масс солнца. В результате проведенного

моделирования выявлены и качественно рассмотрены эффекты происходящие при таких столкновениях, такие как эффект резкого торможения при столкновении одиночного массивного объекта со скоплением. Одновременно с этим проверялась эффективность предложенного метода интегрирования в применении к объектам с сильным различием масс. Предложенный метод подтвердил свою эффективность и точность интегрирования для любых масс объектов и их соотношений.

### **Благодарность**

Выражаем признательность Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку работы (грант РФФИ № 15-02-03063).

### **Литература**

1. *Read J.I., Dehnen W.* N-body simulations of gravitational dynamics. – Eur. Phys. J. Plus (2011) 126: 55
2. *Mikkola S., Aarseth S.J.* An implementation of N-body chain regularization. – Cel. Mech. Dyn. Astr. (1993) Vol. 57, No. 3, pp. 439-459
3. *Lezhnin K.V., Chernyagin S.A.* Using the Transition to Action Variables of the Newtonian Problem in the Numerical Solution of the N-Body Problem. - Astron. Lett. (2014), Vol. 40, No. 6, pp. 382-287