

# МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОРОТАЦИОННОЙ СВЕРХНОВОЙ

**Скиба Е.А.<sup>1</sup>, Моисеенко С.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт космических исследований РАН, [mykenigsberg@gmail.com](mailto:mykenigsberg@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Институт космических исследований РАН, [moiseenko@iki.rssi.ru](mailto:moiseenko@iki.rssi.ru)*

Выяснение механизмов взрыва сверхновых является одной из актуальных проблем современной астрофизики. Для сверхновых типа Ia этот механизм, на сегодняшний день, считается в целом ясным. Сложнее дело обстоит со сверхновыми с коллапсирующим ядром (типов Ib, Ic и II). Взрыву таких сверхновых предшествует коллапс ядра, вызванный выгоранием термоядерного топлива. Одним из вариантов дальнейшего развития взрыва является нейтринный механизм, однако расчёты по этой модели либо не приводят к взрыву, либо энергия такого взрыва оказывается слишком мала.

В данной работе моделирование проводится на основе другого механизма развития взрыва, а именно магниторотационного, предложенного Г.С. Бисноватым-Коганом. Его идея состоит в преобразовании энергии вращения ядра в энергию разлёта оболочки звезды посредством магнитного поля. Ввиду чрезвычайной сложности задачи, единственным способом её исследования является численное решение соответствующих уравнений.

Одной из дополнительных сложностей, возникающих при таком моделировании, является наличие во взрывающейся магниторотационной звезде двух существенно различных характерных временных масштабов. Это малые времена, связанные с распространением гидродинамических возмущений, и существенно большие времена изменения магнитных полей. Эффективное численное решение таких задач, называемых жёсткими, возможно только с применением неявных численных схем, что существенно усложняет процесс моделирования.

В данном исследовании рассматривается одномерная цилиндрически симметричная модель сверхновой. Применяется неявная разностная схема для уравнений магнитной гидродинамики в лагранжевых массовых координатах. Используемые уравнения состояния учитывают нейтронизацию вещества и давление излучения. Кроме того, учтены потери энергии на нейтринное излучение. Благодаря использованию неявной схемы, расчёты удалось провести для достаточно малых отношений магнитной энергии к гравитационной, имеющих место в реальных звёздах.

Результаты расчётов показывают, что развитие коллапса по данной модели приводит к расслоению оболочки, основная часть которой начинает вращаться твёрдотельно вместе со звездой, однако внешняя часть оболочки разлетается с большой скоростью, что и может быть интерпретировано как взрыв сверхновой. Кроме того, вычисленная энергия взрыва близка к полученной из наблюдений. Полученные результаты хорошо согласуются с наблюдаемой картиной взрыва сверхновых с коллапсирующим ядром.

В дальнейшем планируется проведение трехмерного моделирования взрыва сверхновой по магниторотационной модели с активным использованием распараллеливания на CPU и GPU ввиду высокой вычислительной сложности задачи. Численную схему планируется строить с использованием сеточных аналогов дифференциальных операторов на сетке, составленной из тетраэдров.