

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ПОСЛЕ ВЗРЫВА СВЕРХНОВОЙ С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ОБЛАКАМИ

Рыбакин Б.П., Михальченко Е.В., Стамов Л.И., Горячев В.Д.

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
г. Москва*

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, г. Москва

Тверской государственной технический университет, г. Тверь

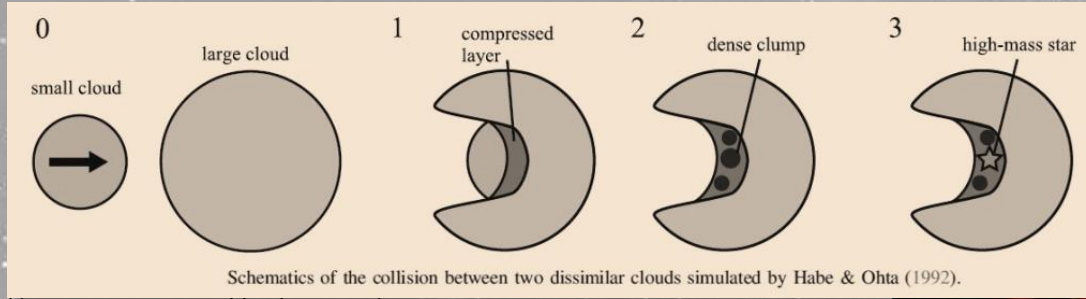
**XV Всероссийский симпозиум по
горению и взрыву
Москва, 29 ноября — 4 декабря 2020**



Михальченко Елена Викторовна
MikhailchenkoLena@yandex.ru

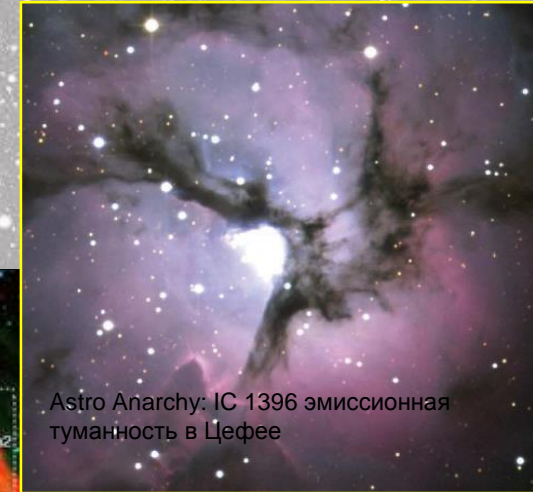
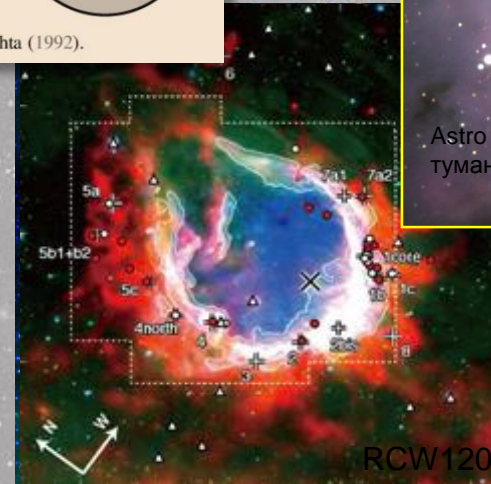
MC₁ MC₂ Столкновение

Рассматривается задача моделирования и морфологического анализа формирования молекулярных облаков за счет лобового столкновения (первый сценарий) и скользящего столкновения (второй сценарий) двух разнородных облаков.



Первые численные исследования столкновений облаков были выполнены [Habe & Ohta \(1992\)](#). Последующие численные эксперименты представлены [Anathpindika \(2010\)](#) and [Takahira et al. \(2014\)](#).

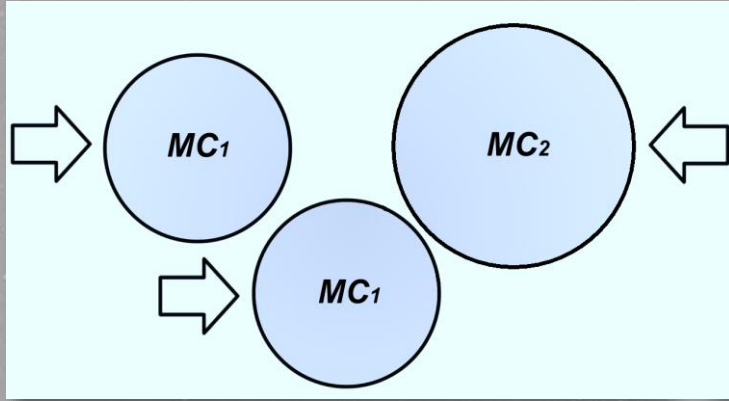
Предполагается, что CCCs может играть важную роль при образовании звезд с высокой массой в нескольких местах Вселенной. Тройная туманность M20 является хорошо известной областью галактики, представляющей собой область HII ионизированного водорода вокруг одиночной звезды класса O. [Ohama и др. \(2010\)](#) сообщили, что звезда образовалась при столкновении двух молекулярных облаков. Наблюдения выявили два молекулярных облака в направлении M20, движущихся с относительной скоростью 7.5 км/с. Результат численного моделирования опубликован в [The Astrophysical Journal, 835:142, 2017](#) группой авторов: [K. Torii и др.](#)



Другой возможный сценарий: |●-взаимодействие между молекулярными облаками и фронтом ударной волны от взрыва сверхновой, звездный ветер и другие локальные воздействия.

Начальные условия при моделировании \mathfrak{S} лобового и скользящего столкновений

Нестационарная газовая динамика и столкновения молекулярных облаков описываются системой уравнений Эйлера, которые являются законами сохранения массы, импульса и энергии.



C₁ Johansson, E. & Ziegler, U., 2011

$$\rho(r) = \rho_{ism} + \frac{\rho_{cl} \cdot \rho_{ism}}{1 + \left(\frac{r}{R_{cl}}\right)^{2.718}} \quad \chi = \frac{\rho_{cl}}{\rho_{ism}}$$

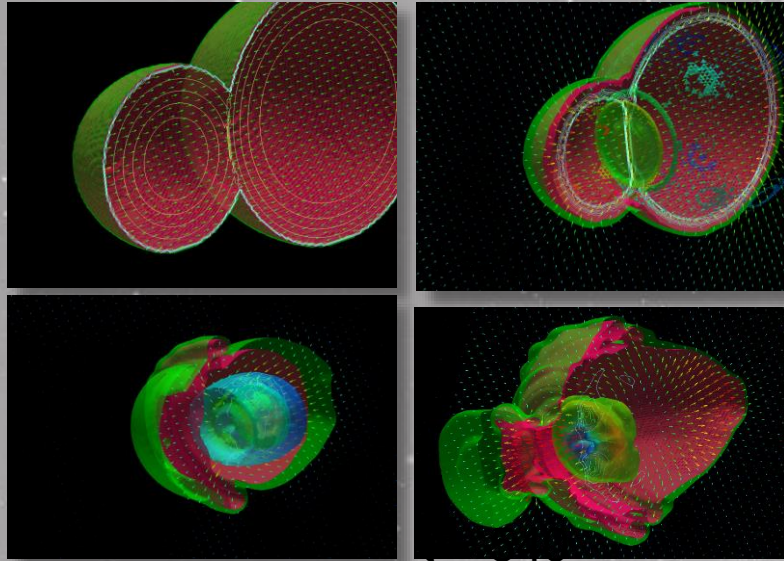
C₂ Pittard, J.M. et al. 2009.

$$\rho(r) = \rho_{ism} \left(\chi + \frac{\alpha}{\alpha + 1} (1 - \chi) \right) \quad \alpha = \exp \left\{ \min \left[20.0, 10 \cdot \left(\left(\frac{r}{R_{cl}} \right)^2 - 1 \right) \right] \right\}$$

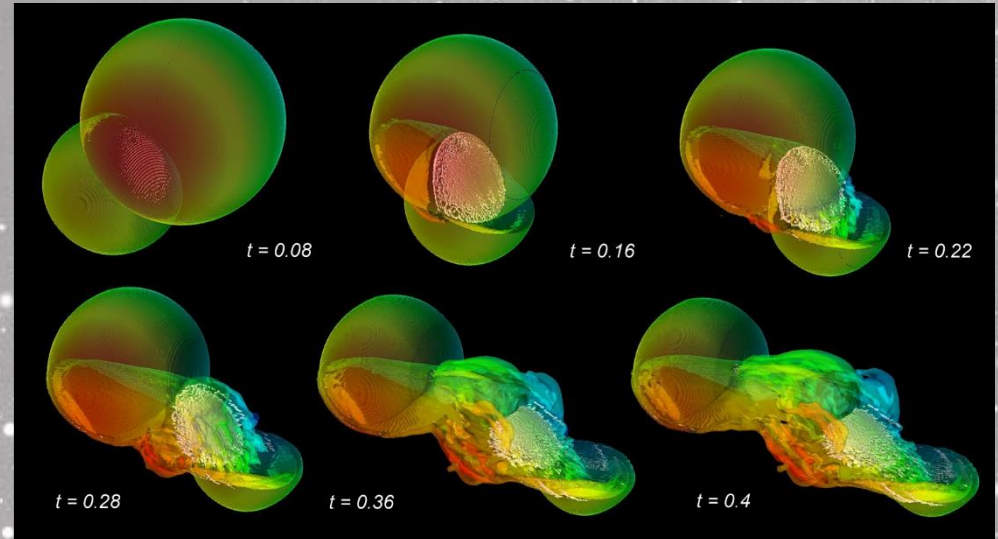
Для решения уравнений используется схемы высокого разрешения типа TVD. Код использует консервативную схему, разрешающую разрывы. Разностная схема обладает вторым порядком точности и позволяет выполнять высокоточные расчеты в зонах, близких к ударным волнам и контактными разрывам, предотвращая нефизические осцилляции.

В настоящем исследовании было использовано собственное программное обеспечение, основанное на эйлеровом сеточном описании, с использованием сеток с высокой степенью детализации. Для постобработки результатов был использован код HDVIS.

Лобовое столкновение



Скользящее столкновение



- Были получены динамические образования МО для различных сценариев, лобового или скользящего столкновений МО, проведен анализ результатов сверхзвуковых возмущений деформированных поверхностей в результате сильного сжатия ядра.

- Исследование показало, что столкновение при ударном взаимодействии инициирует турбулизацию, возникновение филаментов, а также трансформацию возникающих структур.

- Проведенное моделирование показало, что ударное взаимодействие между сталкивающимися МО усиливается посредством неустойчивостей Кельвина — Гельмгольца, Рэлея — Тейлора и NTSI. Последний фактор играет решающую роль в формировании дугообразного слоя и образовании высокотурбулентных предзвездных областей.

- Энергетическая неустойчивость изогнутого ударного слоя при столкновении облаков и поверхностных слоев инициирует когерентные пульсации в межзвездную среду.

- Реальные физические значения были получены в численном эксперименте. Уровень плотности в 10^{-20} - 10^{-19} $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$ достигается в образующихся сгустках вещества (предшествует зарождению звезд).

