

Реферат статьи
“Линзированная сверхновая Рефсдала:
уточнение временных задержек на основе моделирования взрывов сверхновых”

Происхождение и свойства темной материи – важнейшая загадка для современной физики, не укладывающаяся в рамки Стандартной модели. В отличие от обычной материи, темная материя не участвует в электромагнитном взаимодействии. Она не излучает, не поглощает и не отражает излучение, что не позволяет прямо наблюдать темную материю. Изучать её свойства возможно лишь косвенно, исследуя гравитационный вклад темной материи в совместный гравитационный потенциал астрономических объектов.

Одни из самых больших структур во Вселенной – это скопления галактик. Гравитационная связность входящих в скопления галактик и газовых облаков, разогретых до десятков миллионов градусов, достигается благодаря темной материи, образующей глубокую гравитационную яму. Согласно ОТО ход световых лучей искривляется в гравитационном поле, по аналогии с оптически линзами, это явление называют гравитационным линзированием. Свет от одиночного источника, расположенного далеко за скоплением галактик, отклоняется гравитационным полем скопления, а также отдельными галактиками-членами скопления, и приходит к наблюдателю с разных направлений, что приводит к многократным изображениям источника. Из-за геометрической разности длин путей для разных изображений, а также временной задержки электромагнитного сигнала в гравитационном поле (эффект Шапиро) между изображениями источника возникает разница во времени прихода сигнала земному наблюдателю. В 1964 году норвежский астрофизик С. Рефсдал показал, что измеряя разницу прихода сигнала между изображениями сверхновой можно измерить космологические параметры, в том числе постоянную Хаббла.

В представленной на конкурс работе, исследуются свойства сверхновой Рефсдала, открытой в 2014 году и названной в честь норвежского астрофизика. Это первая гравитационно-линзированная сверхновая, у которой наблюдались множественные изображения. Большое увеличение, обеспечиваемое линзой-галактикой, усиленное линзой от скопления галактик, предоставило уникальную возможность выполнить детальное моделирование далекой сверхновой типа II на красном смещении $z=1.5$ (возраст Вселенной на момент взрыва составлял всего 4.3 млрд. лет).

В работе представлены результаты радиационно-гидродинамического моделирования сверхновой Рефсдала. Получено, что предсверхновая Рефсдала была голубым сверхгигантом, подобно знаменитой сверхновой 1987А, но обладала большей полной массой и более высокой энергетикой взрыва, чем сверхновая 1987А. Радиус и полная масса предсверхновой Рефсдала составляли, соответственно, 50 солнечных радиусов и 25 солнечных масс, при взрыве синтезировано 0.26 солнечных масс радиоактивного Ni^{56} , энергия взрыва достигла 4.7×10^{51} эрг. На данный момент, это самая далекая коллапсирующая сверхновая, которую удалось исследовать столь детально, и узнать данные о звезде перед взрывом (предсверхновая). Это важно для теории звездной эволюции во Вселенной.

Теоретические модельные кривые блеска позволили оценить временные задержки и усиления сигнала между изображениями сверхновой с большей точностью, чем предыдущие результаты на основе шаблонных кривых блеска. Используя полученные оценки и перенормируя постоянную Хаббла для разных моделей гравитационных линз скопления галактик, авторы

работы рассчитали значение постоянной Хаббла $H_0 = 68.6 + 13.6 - 9.7$ км с⁻¹ Мпк⁻¹. Поскольку это независимый, прямой способ измерения постоянной Хаббла, этот результат важен для космологии. Показано, что при наличии дополнительных наблюдательных данных для пятого изображения сверхновой Рефсдала (из частных источников известно, что они существуют и скоро будут опубликованы), наш метод позволит значительно улучшить точность нахождения временных задержек и усиления сигнала, а следовательно, улучшить точность определения постоянной Хаббла.

Основные результаты:

- впервые построена физическая модель разлета коллапсирующей сверхновой, открытой на космологическом расстоянии с красным смещением превышающем $z > 1$. Рассчитаны теоретические кривые блеска разлетающейся в результате взрыва оболочки сверхновой, хорошо воспроизводящие наблюдаемые данные.
- показано, что предсверхновая Рефсдала была голубым сверхгигантом с радиусом 50 солнечных радиусов, полной массой в 26.3 солнечных массы и массой Ni56 в 0.26 солнечных масс. Энергия взрыва составила 5×10^{51} эрг.
- на основе модельных кривых блеска измерена задержка и усиление сигнала между изображениями сверхновой, что служит независимым тестом для моделей распределения масс в скоплении и накладывает на них дополнительные ограничения
- измеренные временные задержки и усиления сигнала использованы для вычисления параметра Хаббла $H_0 = 68.6 + 13.6 - 9.7$ км с⁻¹ Мпк⁻¹

Научная и практическая значимость:

В работе впервые выполнен успешный детальный расчёт взрыва сверхновой, открытой на космологическом расстоянии. Используя модельные расчёты, получены ограничения на параметры моделей скоплений галактик и космологических моделей Вселенной.

Основные результаты работы изложены в рецензируемой зарубежной публикации и доложены на международных конференциях и семинарах.

20.02.2021



/Бакланов П.В./