



Нелинейные эффекты распространения быстрых магнитозвуковых волн в солнечной короне

Афанасьев А.Н., Уралов А.М., Гречнев В.В.

Институт солнечно-земной физики, Иркутск

Моделирование

Основная задача – моделирование распространения ударной БМЗ волны с использованием метода нелинейной геометрической акустики:

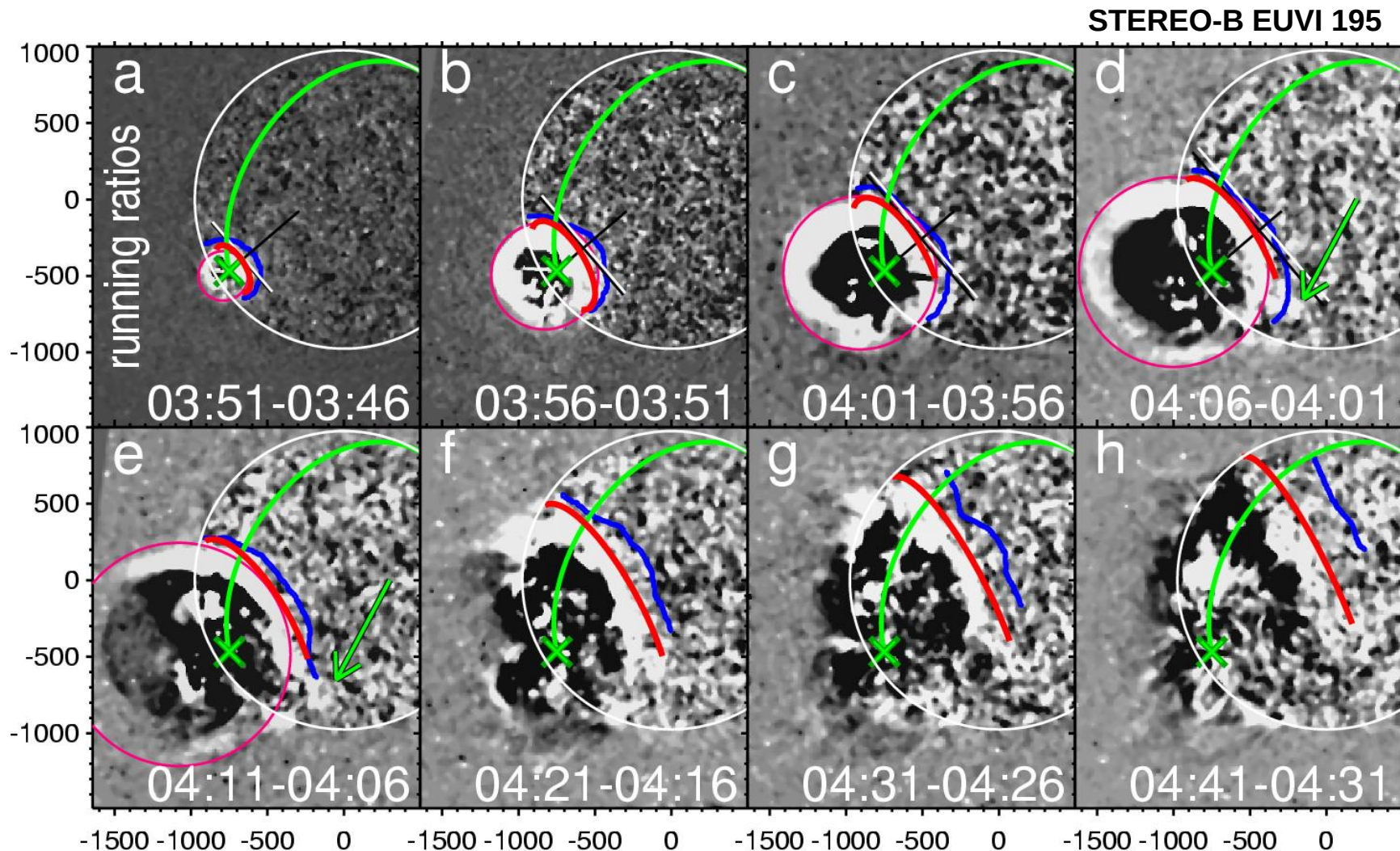
- в спокойной короне (кинематика EUV /«EIT» волны)
- внутри активной области (**стендовый доклад**)
- в окрестности магнитной нулевой точки

Метод нелинейной геометрической акустики – самосогласованный подход (*Uralova&Uralov, Sol. Phys., 1994*) – учитывает:

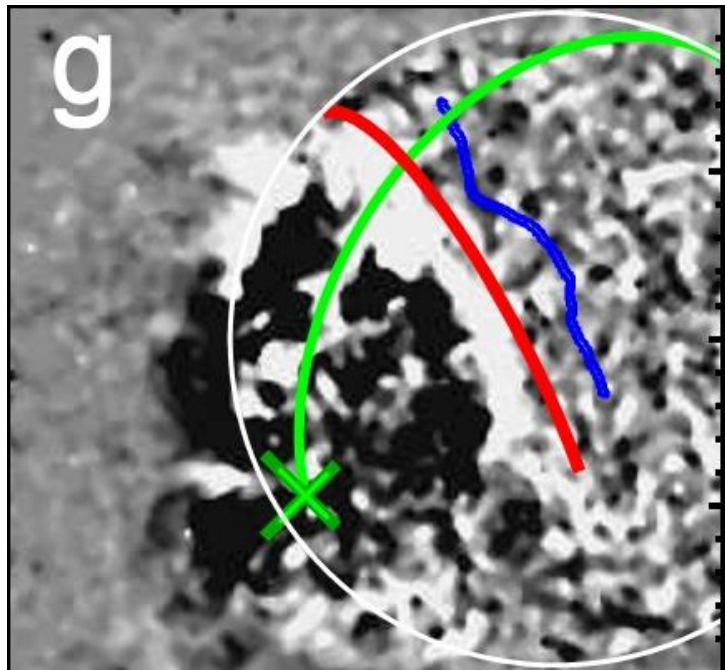
- рефракцию в неоднородной короне
- влияние нелинейности на лучевую картину
- нелинейное затухание амплитуды

Развитие метода: усовершенствован расчет амплитуды волны с помощью якобианов перехода к лучевым координатам (*Afanasyev&Uralov, Sol. Phys., 2011*)

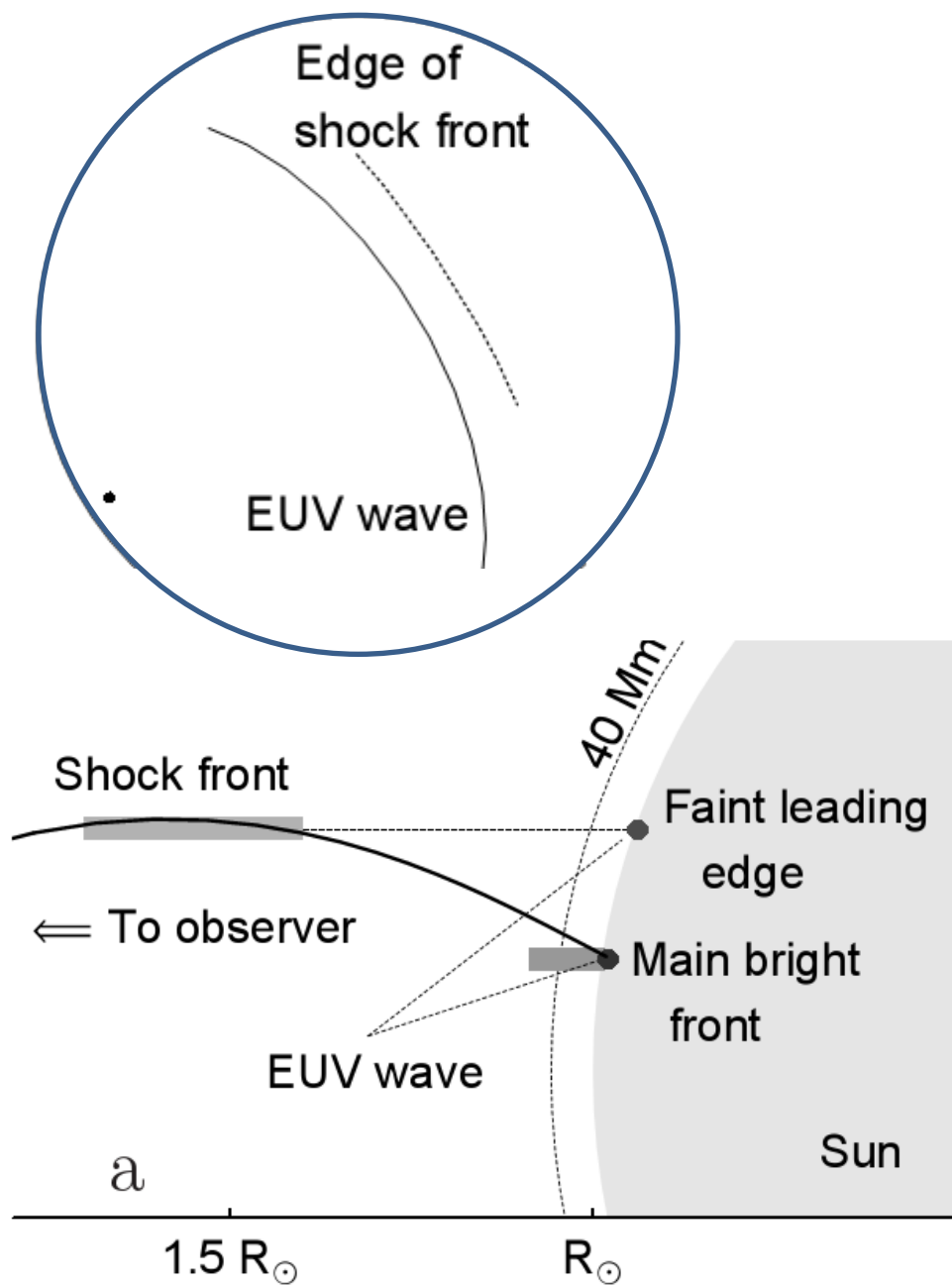
EUV волна в событии 17-01-2010



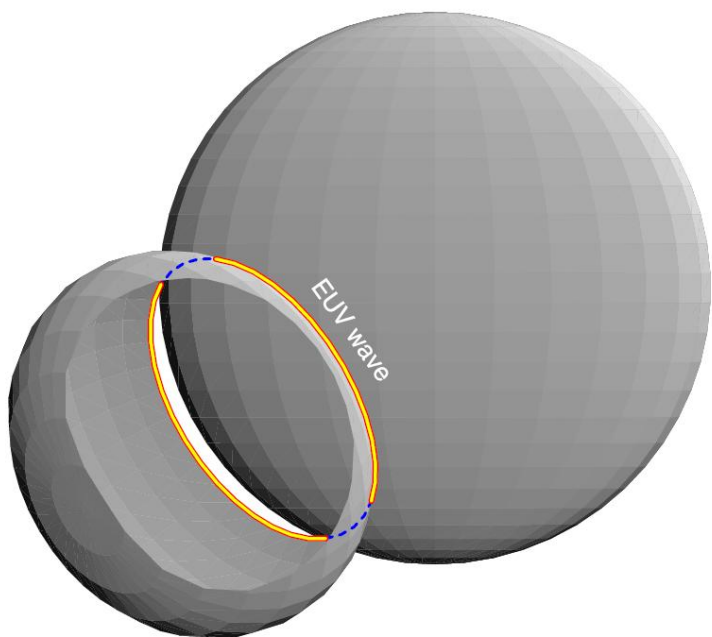
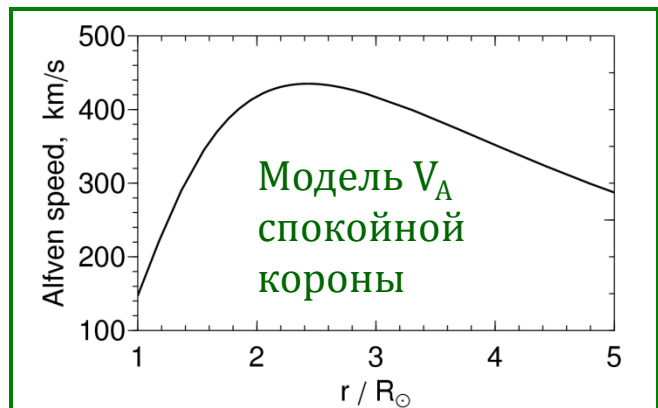
Grechnev, Afanasyev, Uralov, Chertok et al. (Sol. Phys., 2011)



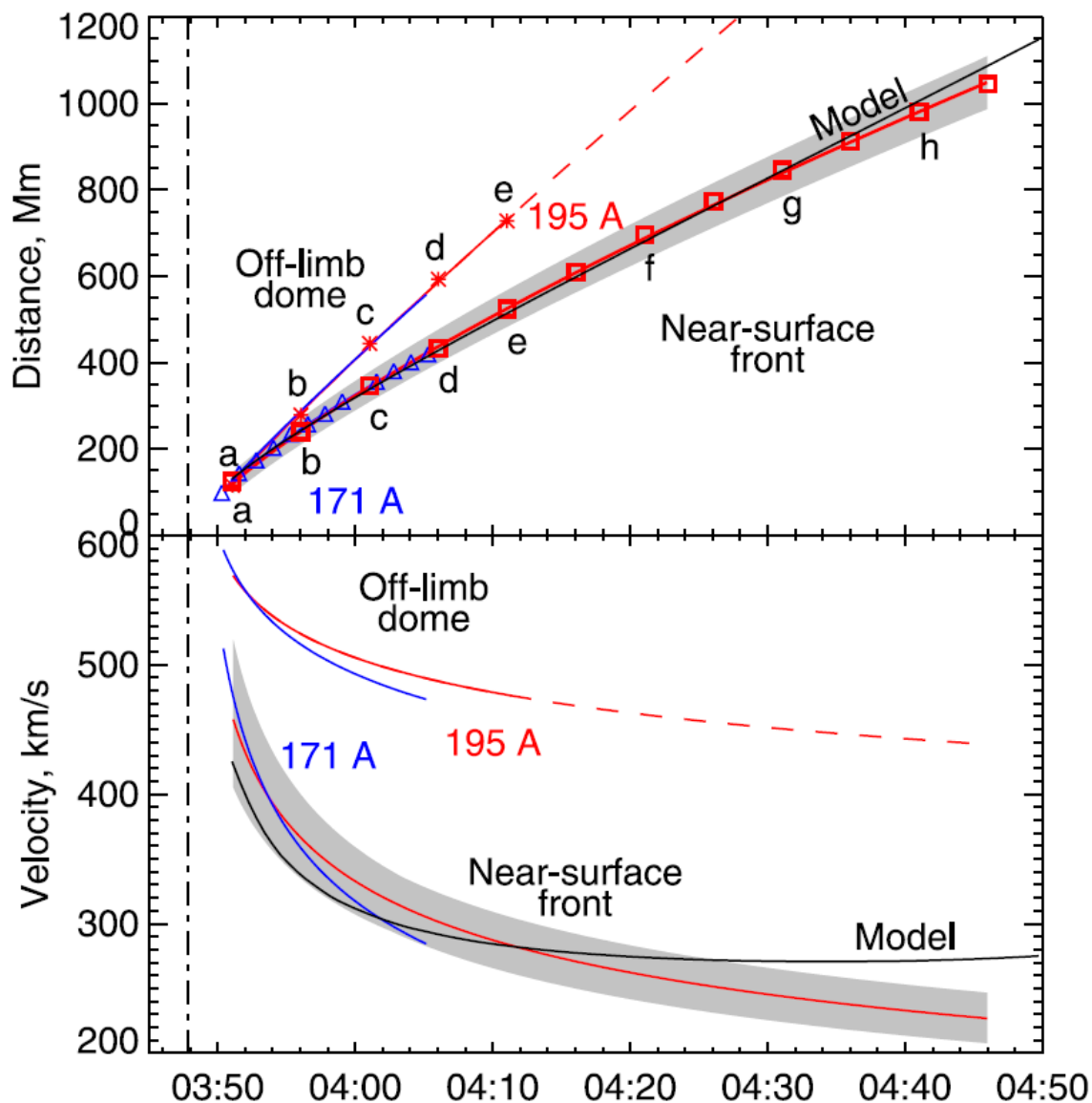
Различия в положениях фронта
EUV волны, полученные
Grechnev et al. и *Veronig et al.*,
объясняются выпуклостью
фронта корональной ударной
волны $\Rightarrow$



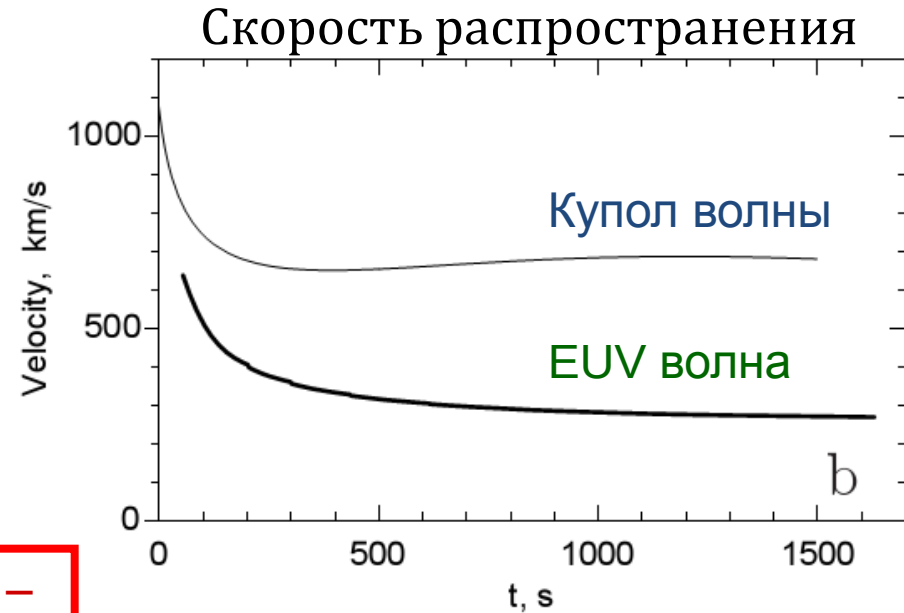
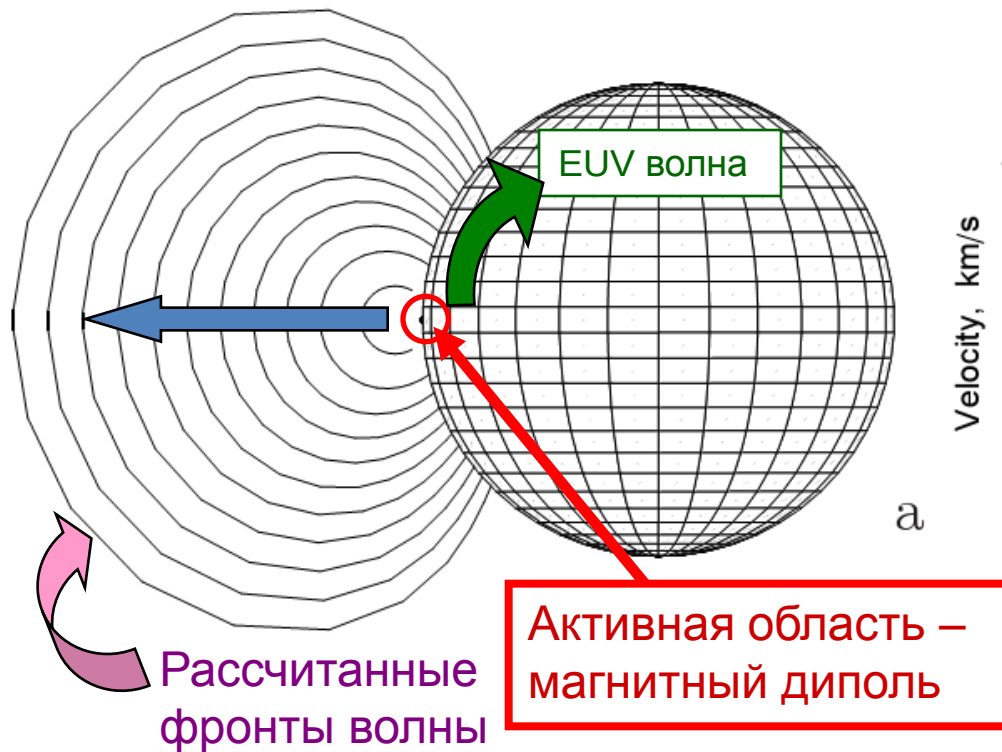
Кинематика EUV волны



Фронт корональной ударной волны

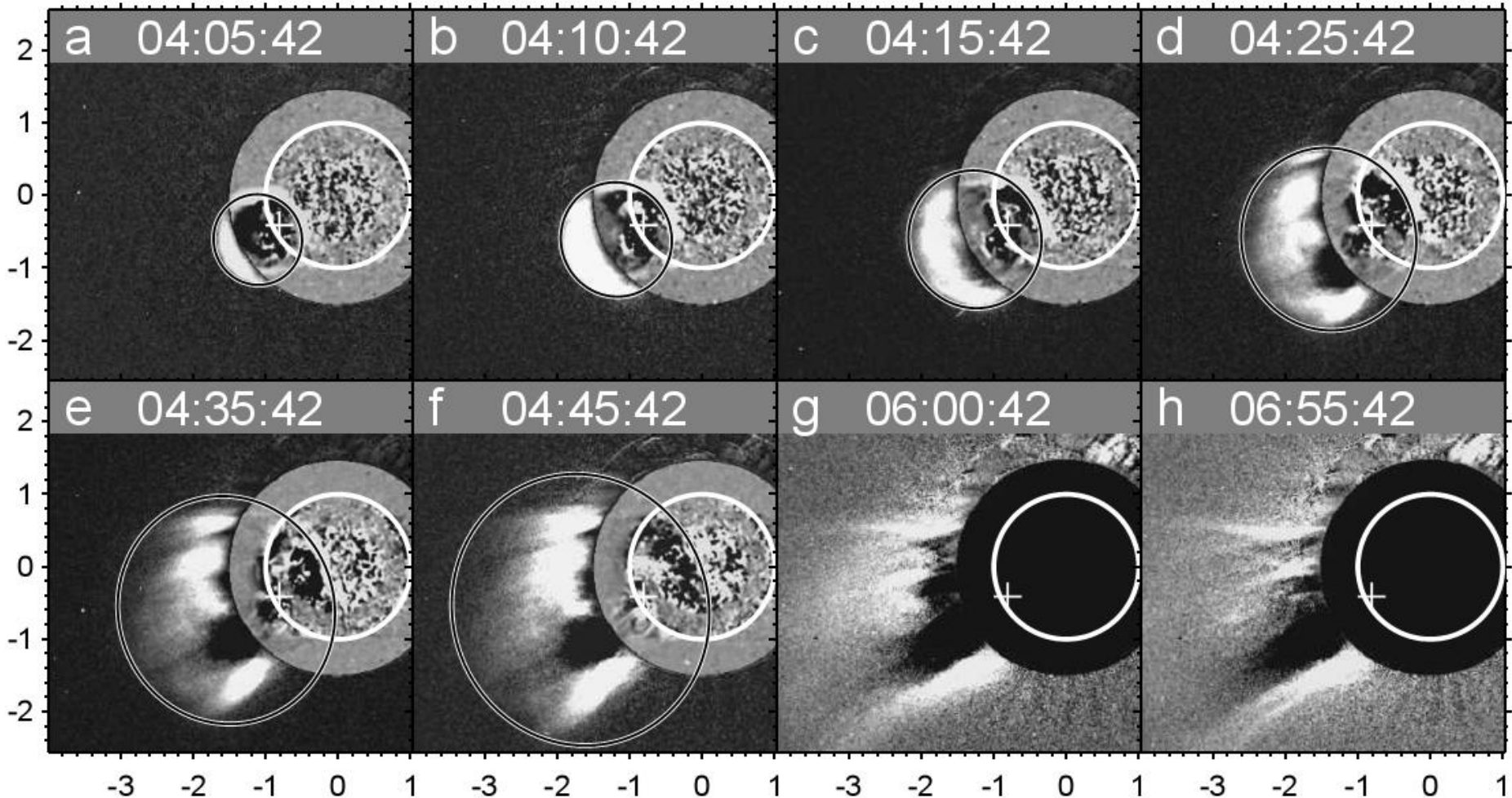


Распространение волны вверх в короне с активной областью



- Скорости движения фронта **вверх** и **вдоль поверхности** отличаются ~ в 2 раза.
- Волна распространяется в короне как взрывная

Данные STEREO-B/COR1



- Сплюснутая форма ударного фронта



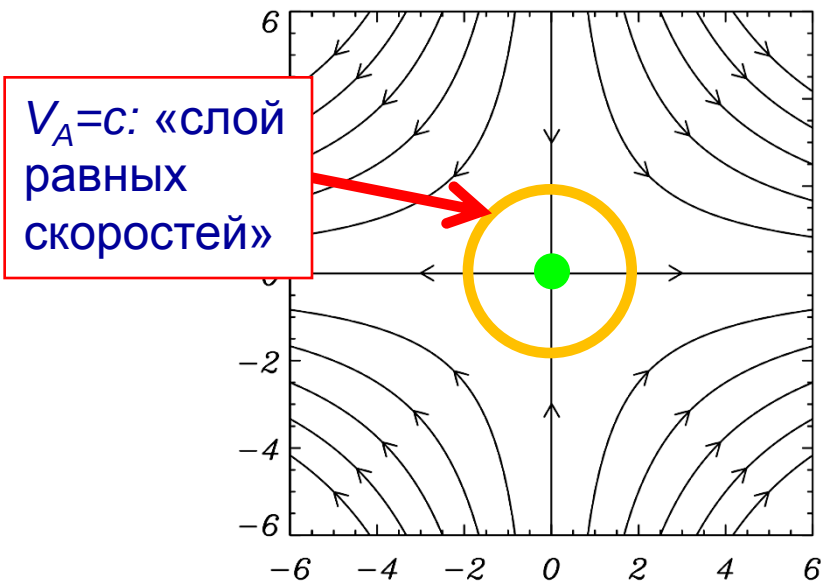
Результаты и выводы

1. Установлена волновая природа EUV волны в этом событии. Рассчитана кинематика волны. Дана интерпретация наблюдаемых «двойных» фронтов EUV волны.
2. Выявлено, что ударная волна в этом событии распространяется как взрывная. Получена форма фронта ударной волны, соответствующая наблюдениям, а также объяснено различие в скоростях распространения вдоль разных направлений из-за присутствия активной области.



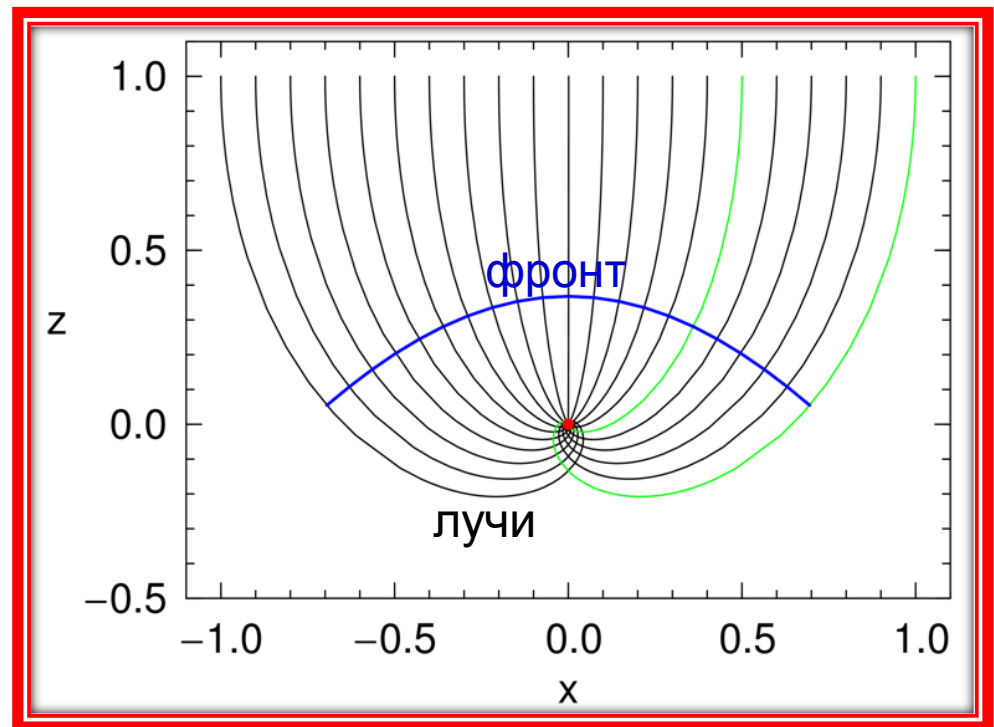
Волна вблизи магнитной нулевой точки

- Двумерная магнитная нулевая точка: $\mathbf{B}=(x,0,-z)$.
- Плотность и температура плазмы постоянны
- Распространение в холодной плазме $c = 0$ и теплой плазме $c \neq 0$



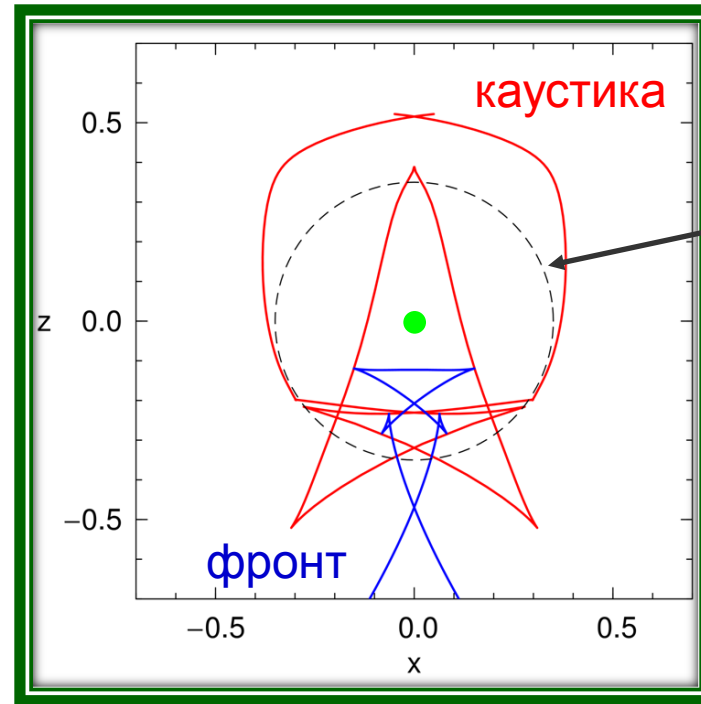
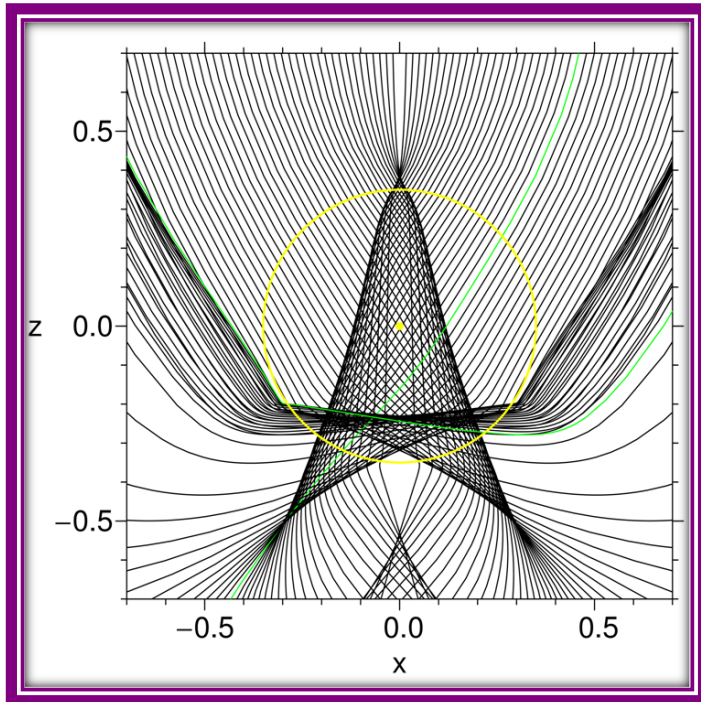
↑ Нулевая X-точка и
силовые линии магнитного
поля

McLaughlin and Hood (A&A,2004): линейная волна в холодной плазме сходится в точку



Линейная волна в теплой плазме

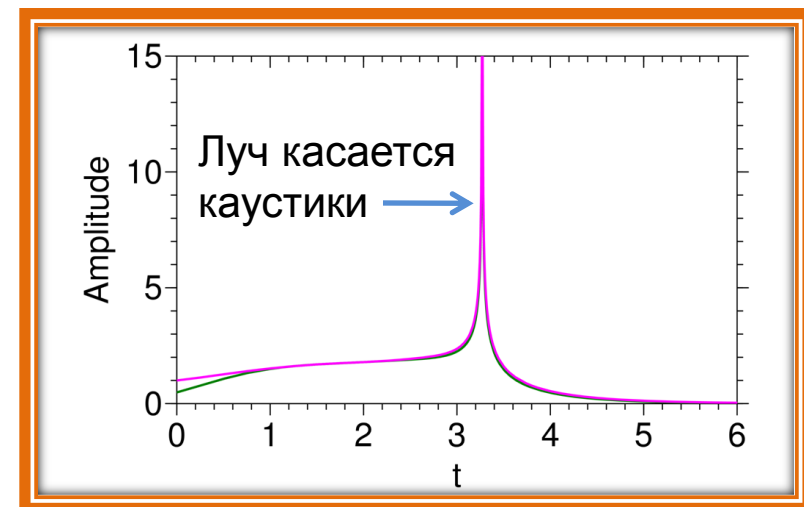
Лучевая картина



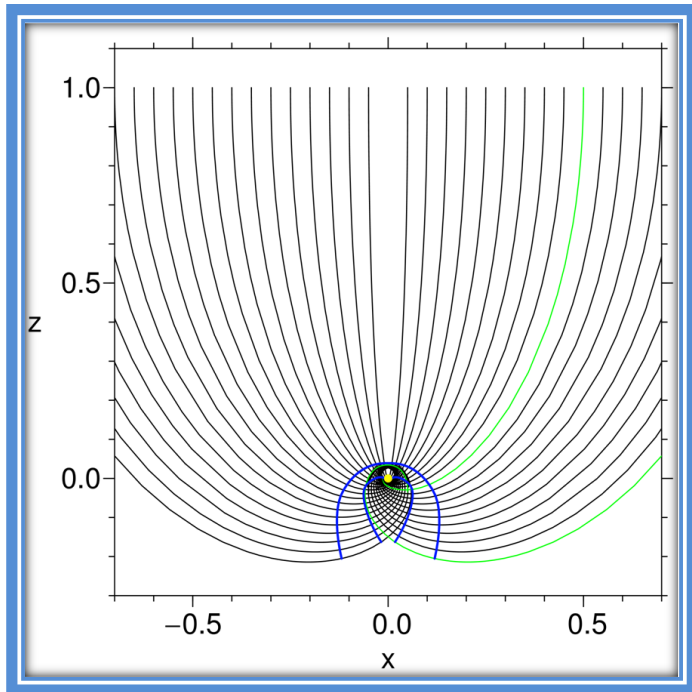
Слой равных
скоростей $c=V_A$

Амплитуда
волны ↓

- Формируется каустика
- Амплитуда волны на каустике бесконечно возрастает
- Нагрев плазмы происходит не в точке



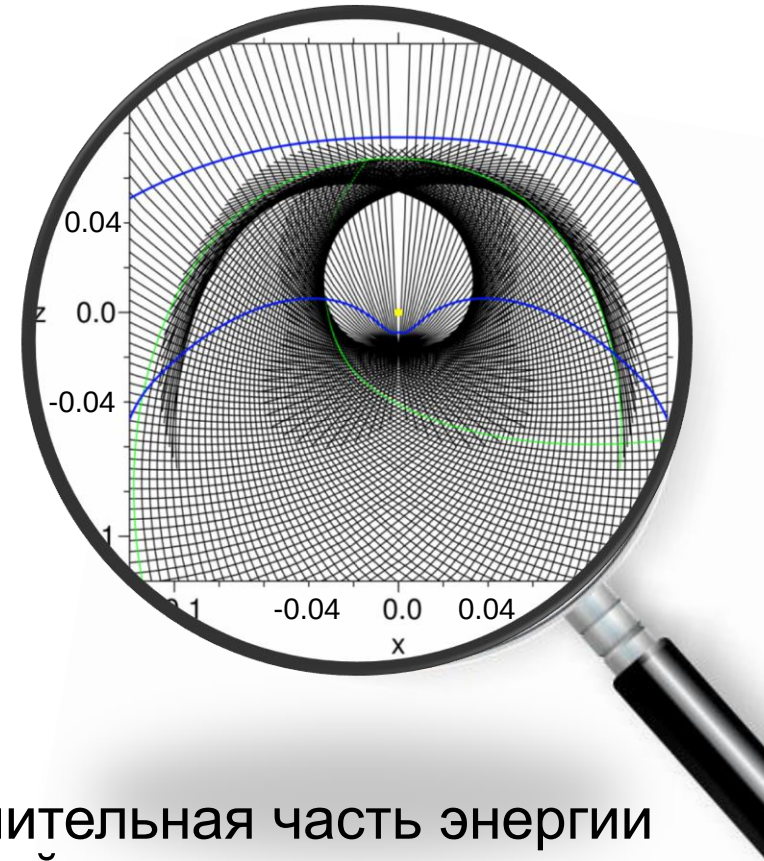
Ударная волна в холодной плазме



← Лучевая картина и ее увеличенное изображение →

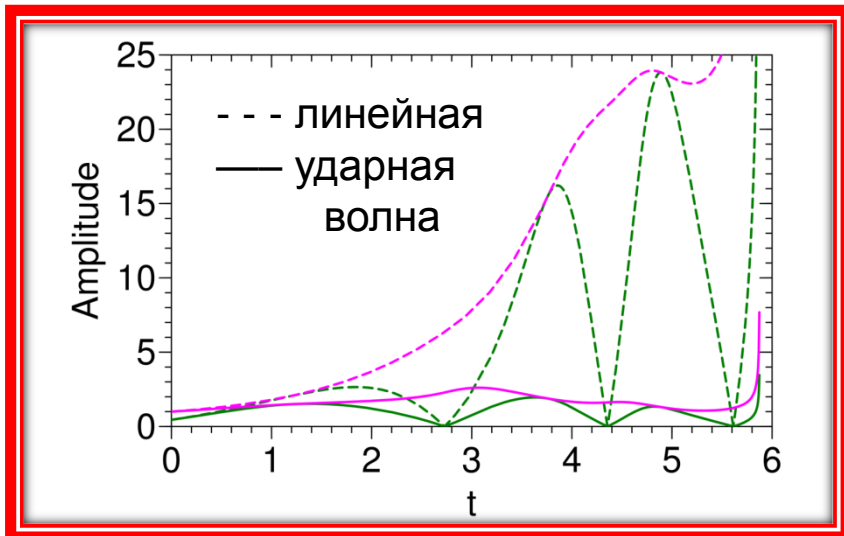
Волна проходит нулевую точку →

Амплитуда
⇓

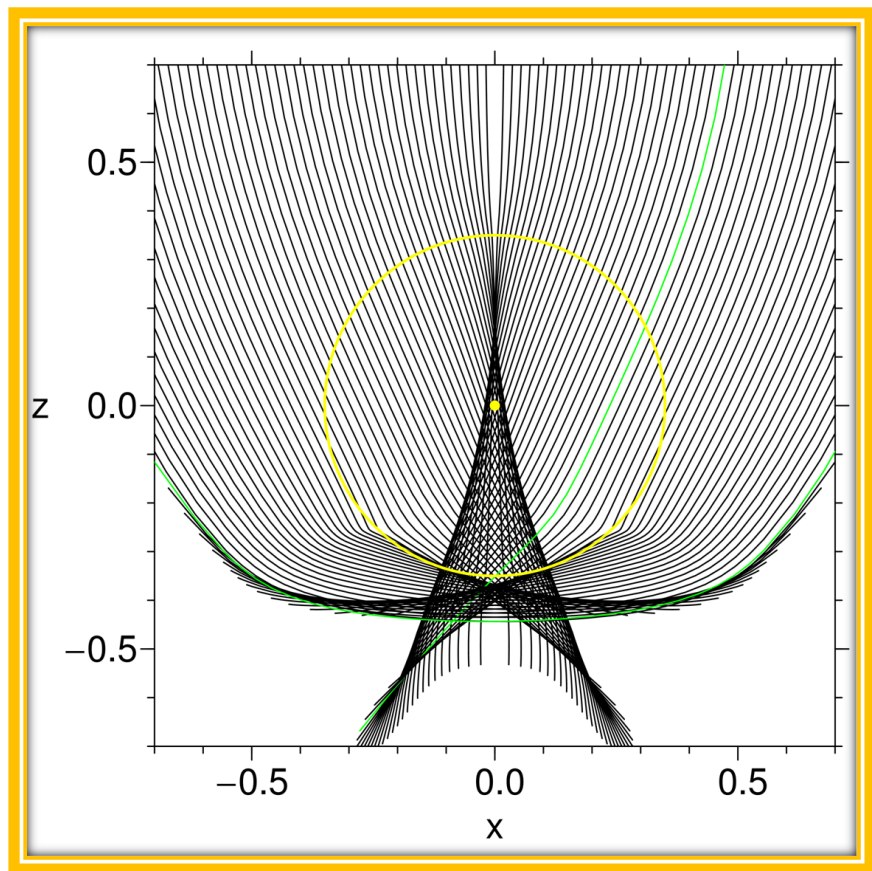


- Значительная часть энергии ударной волны расходуется на нагрев плазмы

← Амплитуда ударной волны не возрастает



Ударная волна в теплой плазме



Лучевая картина и каустика подобны случаю линейной волны в теплой плазме, но сдвинуты в направлении падения волны

Результаты и выводы

1. Выполнен аналитический расчет амплитуды волны. Вокруг нулевой точки формируется сложная каустическая особенность. Обусловленный этим нагрев плазмы рассредоточен в окрестности нулевой точки. Существенный нагрев плазмы возникает также вне каустики из-за сильного нелинейного затухания волны. В отличие от линейного случая амплитуда ударной волны не возрастает при приближении к нулевой точке.
2. Показана определяющая роль нелинейности в распространении возмущений вблизи нулевой точки. Нелинейность приводит к распространению волны сквозь нулевую точку даже в случае холодной плазмы.

Спасибо за внимание!

