

Модель «пузырей» Ферми на основе приливных разрушений звезд

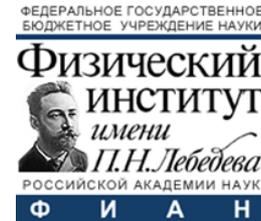
D. Breitschwerdt

Zentrum für Astronomie und Astrophysik,
Technische Universität Berlin, Berlin, Germany



D. O. Chernyshov* and V. A. Dogiel

I.E.Tamm Theoretical Physics Division of
P.N.Lebedev Institute of Physics, Moscow, Russia



C.-M. Ko

Institute of Astronomy, National Central
University, Taoyuan City, Taiwan (R.O.C.)



G. Ponti

INAF-Osservatorio Astronomico di Brera, Merate,
Italy

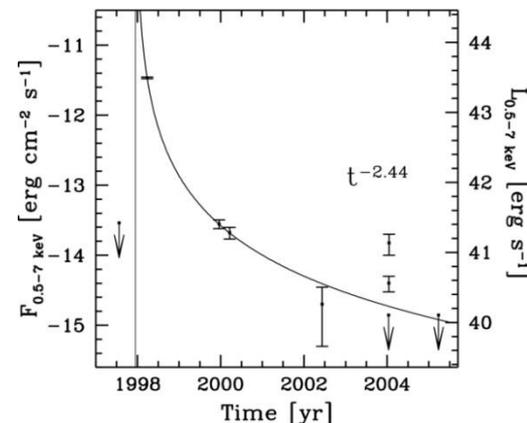


I. Введение

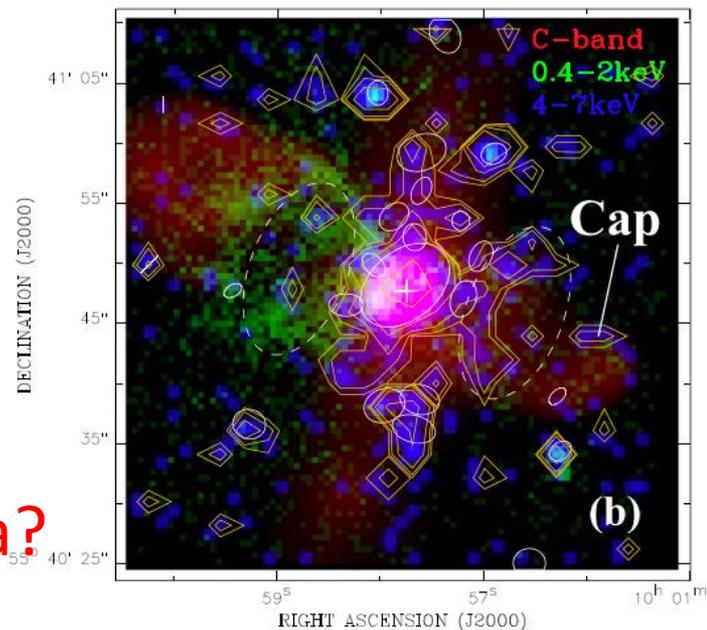
Энерговыведение центральными черными дырами

- Спорадическое выделение энергии черными дырами при приливном разрушении звезд. Частота $10^{-4} - 10^{-5} \text{ yr}^{-1}$ на галактику (Gesari et al. 2009, Stone & Metzger 2016, Stone et al. 2018, van Velzen et al. 2020, Sazonov et al. 2021).

Выделение энергии $\sim 10^{53} \text{ erg}$ произошло, например, в Sw J1644+57 (Burrows et al. 2011) и Abell 1795 (Donato et al. 2014)



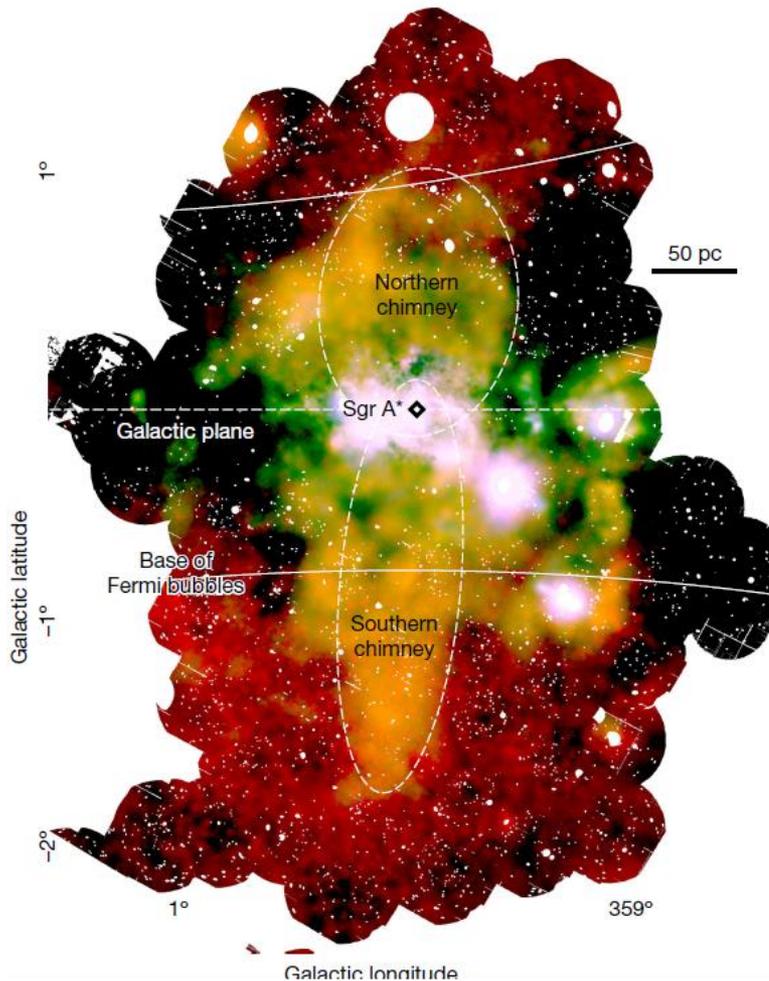
- Возможны гигантские вспышки в 10^{55} erg в ядрах галактик. См. рентгеновское пятно в NGC 3079 (Li et al. 2019)



- Есть ли у них общая природа?

II. Гигантские структуры центра Галактики, обнаруженные eRosita

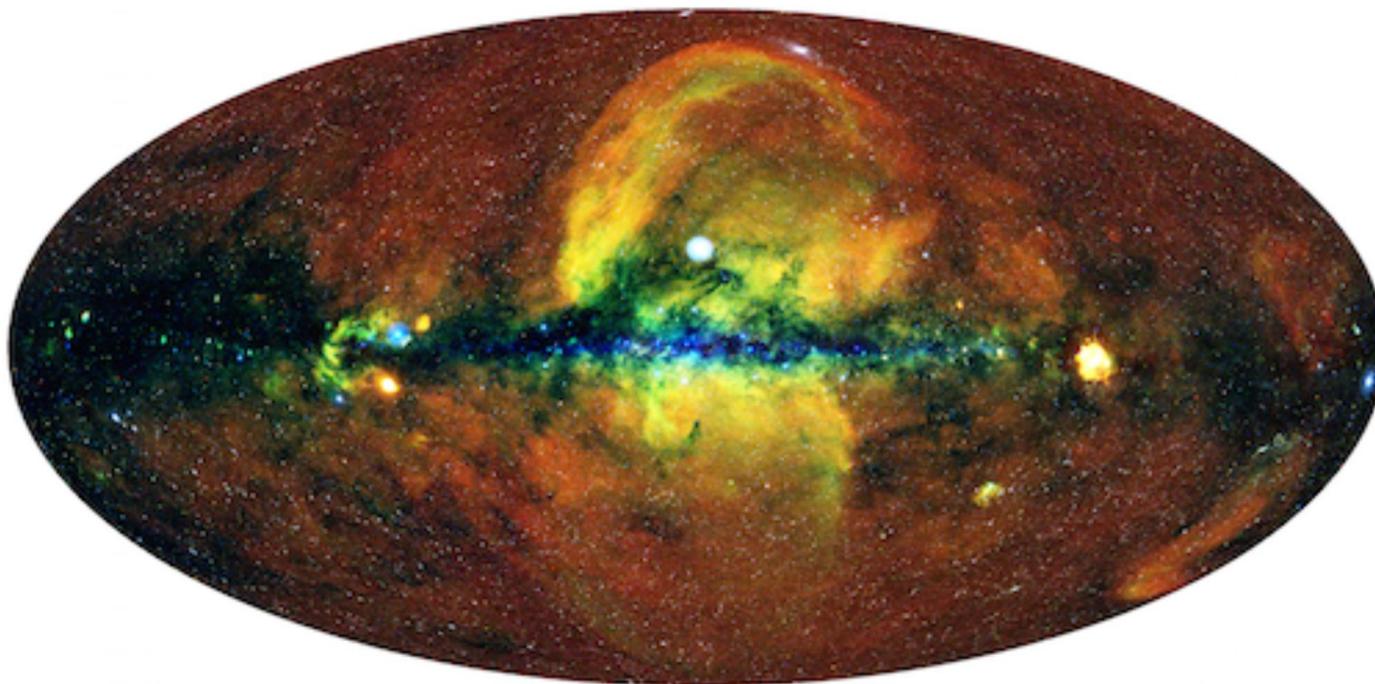
b. Следы прошлых TDE в центре Галактики (see Ponti et al. 2019, 2021)



- NuSTAR обнаружил две протяженные рентгеновские структуры размером примерно 160 пк, находящиеся над и под центром Галактики
- Данные структуры также видны в радио и ИК (Ponti et al. 2019, Heywood et al. 2019), и могут быть связаны с активными процессами на черной дыре
- Они выглядят как «дымоходы» (“chimneys”) и могут быть связаны с истечением газа из Галактики

- Полная энергия оценивается в 3×10^{52} erg. Наличие таких структур свидетельствует об относительно недавнем (или периодическом) выделении энергии в центре Галактики
- Взаимное расположение «дымоходов», пузырей Ферми и пузырей e-Розиты может говорить о том, что они вызваны одним (единичным или повторяющимся) физическим процессом

III. Пузыри eRosita (Predehl et al. 2011)



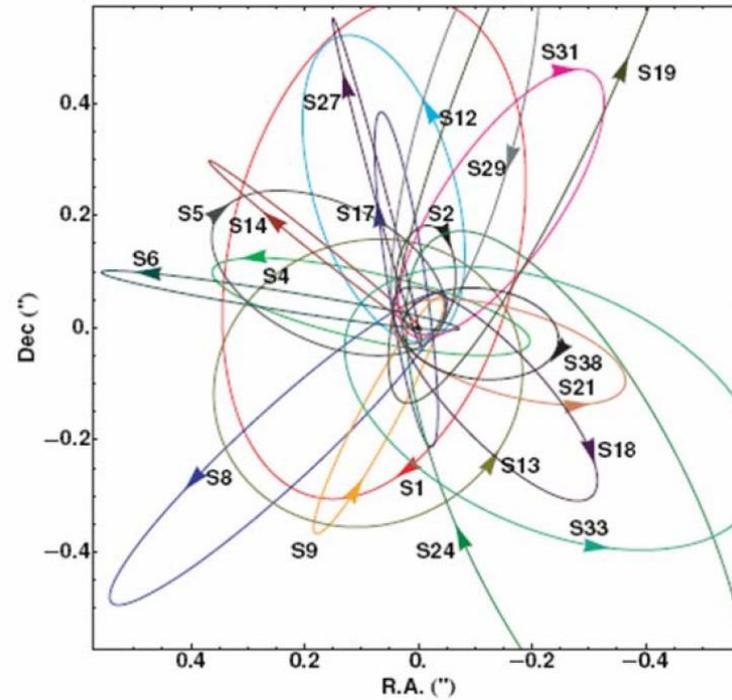
- Пузыри eROSITA – гигантские рентгеновские структуры, имеющие галактический размер, и, скорее всего, связанные с процессами в центре Галактики и с открытыми ранее гамма-пузырями Fermi;
- Для их существования требуется однократное или периодическое выделение энергии в центре Галактики
- Полная энергия оценивается в **10^{56} erg**
- Причина пространственного несовпадения пузырей Fermi и eRosita на данный момент не ясна
- Для наполнения пузырей требуется выделять в ГЦ примерно **10^{41} erg s⁻¹** на протяжении миллионов лет;
- Тем взрыва сверхновых во внутренней части Галактики равен 10^{-3} yrs⁻¹ (см. Crocker et al. 2011, Koepferl et al. 2015, Longmore et al. 2013, Ponti et al. 2015 etc.).
- Если энергия взрыва сверхновой составляет 10^{51} erg то их полная яркость $<10^{40}$ erg s⁻¹ недостаточна для наполнения пузырей.

III. Модель энерговыделения в Галактики: от центра к гало

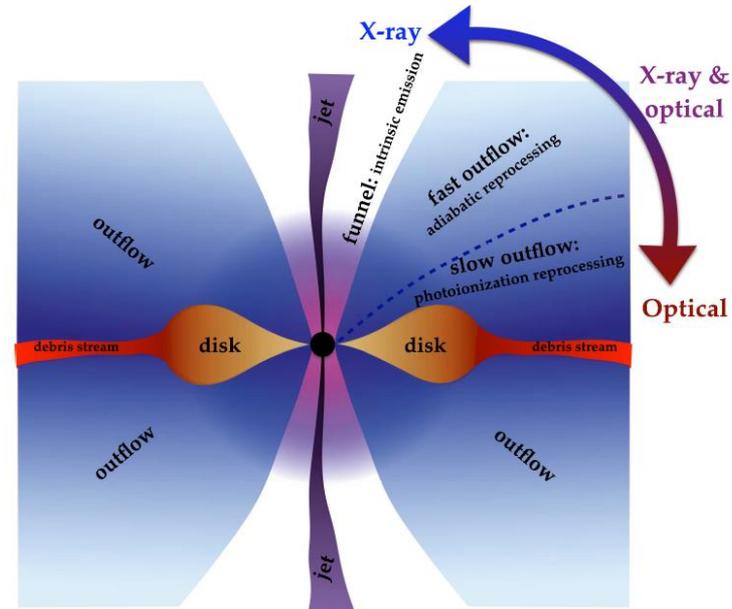
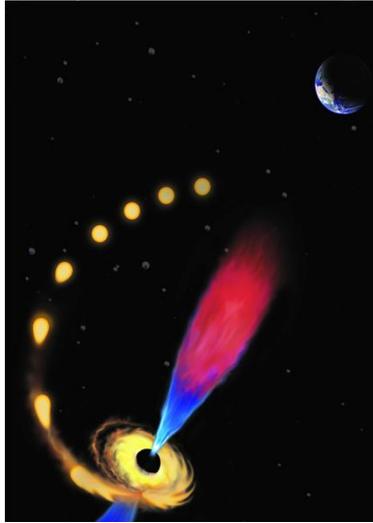
(Ko, Breitschwerdt, DC, Cheng, Dai & Dogiel, 2020)

- a. Черная дыра периодически захватывает и разрушает звезды;
- b. Пузыри eRosita образуются в результате данных захватов;
- c. Мы показали, что полной энергии достаточно для формирования пузырей
- d. Мы предоставили аналитические решения для описания распространения ударной волны в неоднородной атмосфере

а. Звездный кластер в окрестности черной дыры (Genzel et al. 2010)



Приливное разрушение (численный расчет Dai et al. 2018)



- Рентгеновские вспышки могут быть объяснены быстрым оттоком вещества при разрушении звезды (см. Kara et al. 2016).
- Полная энергия оттока составляет $\sim 20\%$ энергии звезды и оценивается как $\sim 10^{52} - 10^{53}$ ergs.
- Скорость оттока $\approx 0.1c - 0.3c$.

с. Может ли горячий газ покинуть центр и попасть в гало?

- Oka et al. (2019) оценили плотность газа в центре как $n \sim 50 \text{ cm}^{-3}$
- Горячему газу необходимо преодолеть данную толщину
- Полная мощность составляет $\sim 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ (e.g. Avedisova 1972 and Weaver et al. 1977)
- Что соответствует вспышкам в $3 \times 10^{52} \text{ erg}$ с частотой 10^{-4} yr^{-1}
- Газ должен выходить в гало со сверхзвуковой скоростью порядка $\sim 300 \text{ km s}^{-1}$

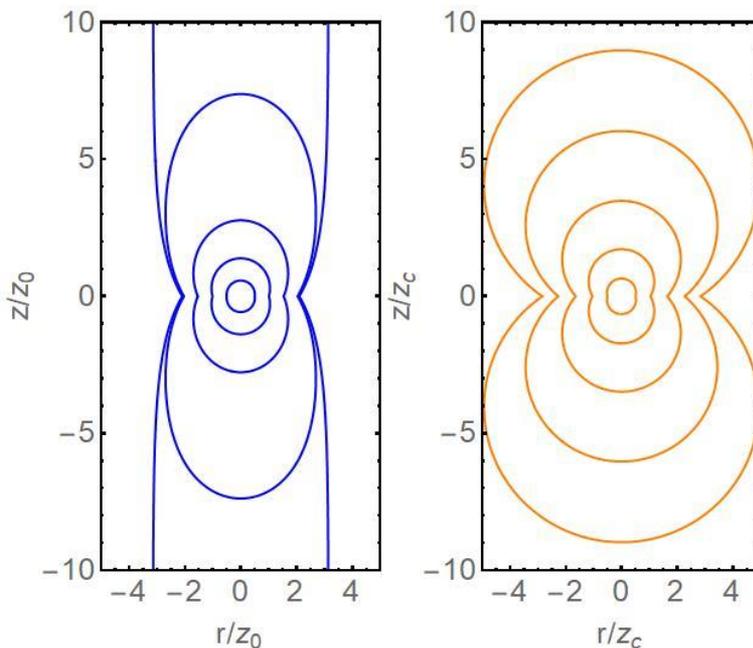
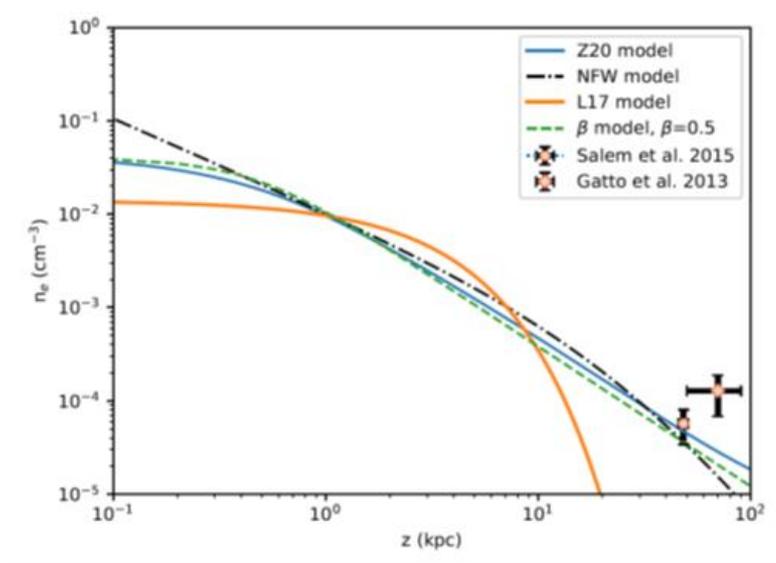
Оболочка от серии TDE

(см. Baumgartner & Breitschwerdt 2013 and Ko, Breitschwerdt, DC, Cheng, Dai & Dogiel, 2020)

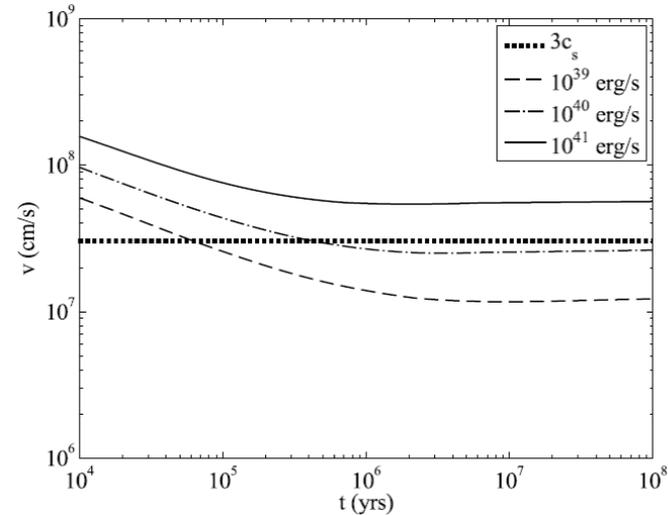
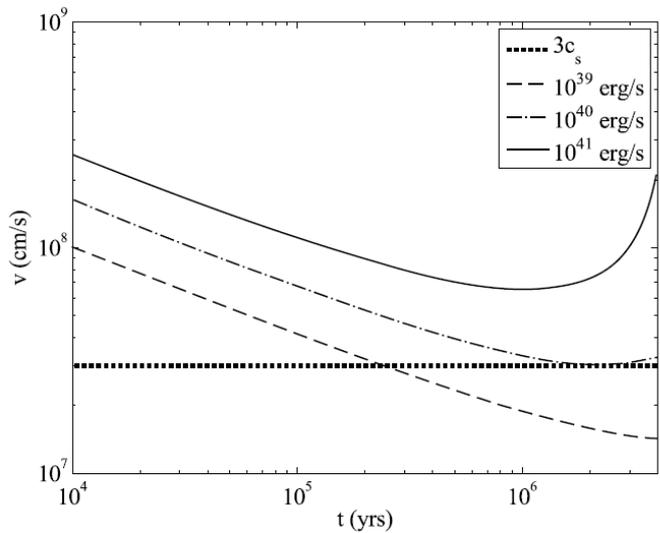
- Распространение ударной волны в неоднородной среде описывается решениями Компанейца (модификация седовского решения)
- Ударная волна вытягивается в направлении градиента плотности

Мы рассмотрели два предельных варианта плотности

- Экспоненциальное распределение (Nakashima et al. 2018)
- Степенное распределение (Miller & Bregman, 2016)



Скорость ударной волны

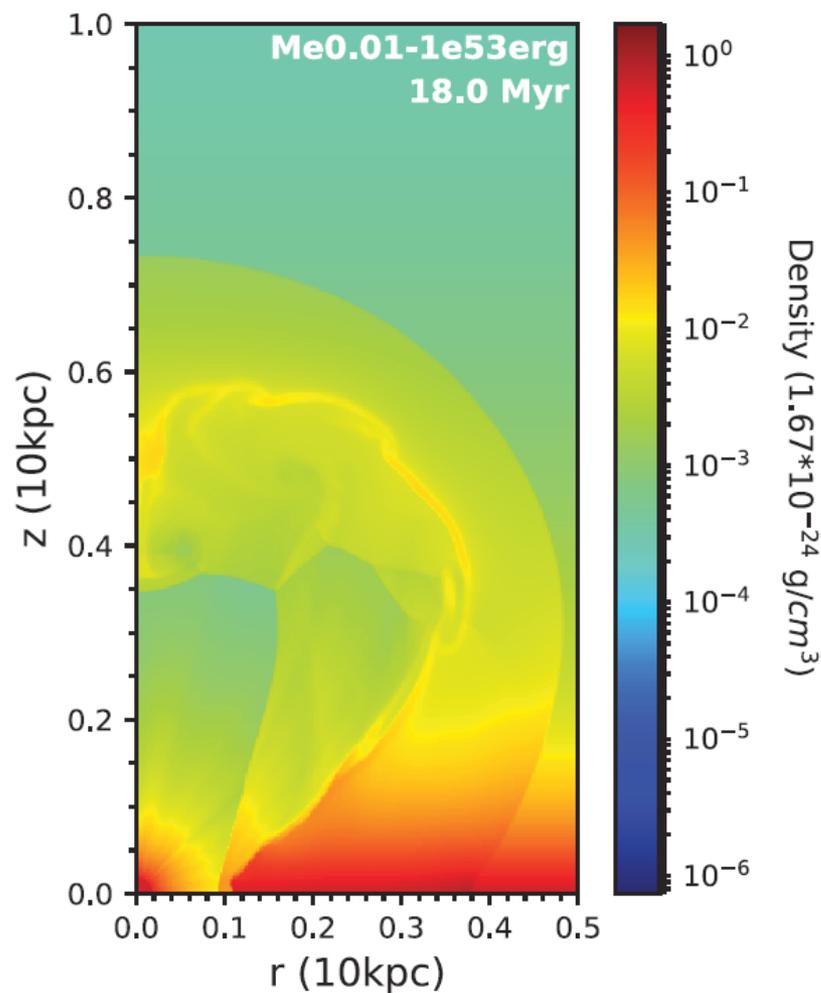
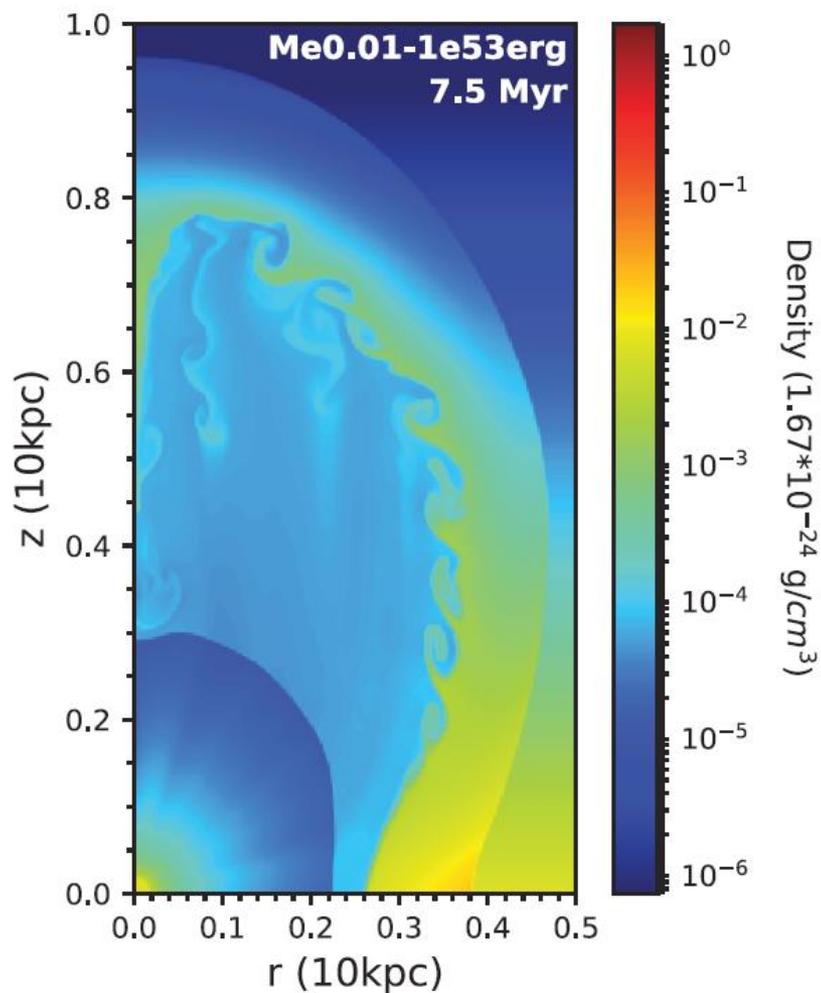


Эволюция скорости УВ в экспоненциальной (слева) и степенной атмосфере (справа) для различных темпов энерговыделения в центре Галактики

- Если скорость падает ниже $3c_s$, ударная волна рассеивается в гало
- В ином случае УВ проходит гало и распространяет энергию от центрального источника
- **Требуемая энергия $> 10^{41}$ эрг/сек. Что обеспечивается обычными приливными разрушениями**

Облочка пузырей, формируемая в экспоненциальной (слева) и
степенной атмосфере (справа)

(MHD-симуляция в пакете FLASH)



V. Выводы

- В центре Галактики наблюдаются рентгеновские «трубы» и радио-структуры с полной энергией около $\sim 4 \times 10^{52}$ эрг. Предполагается, что они связаны с активностью черной дыры, в частности с TDE
- Хотя при единичном TDE выделяется до 10^{53} эрг, этого недостаточно для выхода УВ в гало. УВ переходит в радиационную фазу и теряет свою энергию на небольшом удалении от ГЦ;
- Последовательные TDE могут обеспечить УВ энергией, достаточной для выхода из диска. Характерная частота TDE для Галактики 10^{-4} yr^{-1} . Характерная мощность TDE в ГЦ составляет 3×10^{41} эрг/с;
- *Пузыри Ферми могут существовать длительное время ($> 10^7 \text{ yrs}$) за счет мощности ГЦ, равной 10^{41} эрг/с. Наша модель может объяснить форму пузырей, а также запасенные в них 10^{56} эрг за счет последовательных захватов и разрушений звезд черной дырой*
- *Пузыри e-Розиты, по-видимому, являются более слабой УВ, опередившей пузыри Ферми*