

1. Авторы: Евгений Чуразов
2. Название: цикл работ "Физика горячего газа в скоплениях галактик. 2019"
3. Ссылки на публикации:
  1. Zhuravleva I., Churazov E., Schekochihin A. A., et al., "Suppressed effective viscosity in the bulk intergalactic plasma", *Nature Astronomy*, 3, 832 (2019)
  2. Di Mascolo L., Churazov E., Mroczkowski T., "A joint ALMA-Bolocam-Planck SZ study of the pressure distribution in RX J1347.5-1145", *MNRAS*, 487, 4037 (2019)
  3. Zhang C., Churazov E., Forman W. R., et al., "Standoff distance of bow shocks in galaxy clusters as proxy for Mach number", *MNRAS*, 482, 20 (2019)
  4. Zhang C., Churazov E., Schekochihin A. A., "Generation of internal waves by buoyant bubbles in galaxy clusters and heating of intracluster medium", *MNRAS*, 478, 4785 (2018)
  5. Tang X., Churazov E., "Sound wave generation by a spherically symmetric outburst and AGN feedback in galaxy clusters II: impact of thermal conduction", *MNRAS*, 477, 3672 (2018)
  6. Di Mascolo L., Mroczkowski T., Churazov E., et al., "An ALMA+ACA measurement of the shock in the Bullet Cluster", *A&A*, 628, A100 (2019)

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность.

Исследование физических процессов в горячем газе скоплений галактик (теоретически, используя численные методы и анализируя данные наблюдений) – это одно из важных направлений, успешно развиваемое в отделе Астрофизики высоких энергий на протяжении многих лет.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение;

В цикл включены 6 статей, в которых рассматриваются типичные «гидродинамические» проблемы, характерные для скоплений галактик, и анализируется возможность диагностики фундаментальных свойств газа.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

В цикле используется сочетание новых наблюдательных фактов и теоретических идей, позволивших объединить наблюдения интерферометров с данными в рентгеновском диапазоне, наложить ограничения на процессы переноса в газе и прояснить роль звуковых и внутренних волн в нагреве газа. В частности:

а) Классическая задача о формировании головной ударной волны распространена на случай движения субскопления в газе большего скопления, когда градиентами плотности газа и ускорением/замедлением субскопления нельзя пренебречь. Результаты работы объяснили расхождение в оценках числа Маха, получаемых наблюдателями, и предложили метод, позволяющий отличить фазы до и после прохождения субскоплением периферии.

б) Аналитически и численно определены условия эффективной перекачки энергии, выделяемой сверхмассивными черными дырами, во внутренние волны в стратифицированных атмосферах скоплений.

в) Разработаны алгоритмы совместного анализа интерферометрических данных с данными традиционных телескопов, позволивших получить качественные

изображения скоплений галактик по эффекту Сюняева-Зельдовича. В частности, удалось измерить амплитуду скачка давления (электронов) на фронте ударной волны в скоплении «Bullet» и наложить ограничения на время выравнивания температур ионов и электронов.

г) Показано, что в слабостолкновительной плазме скоплений ( $\beta \sim 10^2$ ,  $\lambda_{\text{mfp}} \gg r_i$ ) флуктуации плотности присутствуют на масштабах, сравнимых с длиной свободного пробега по кулоновскому рассеянию. Это, в частности, означает, что, как и в солнечном ветре, численные модели, предполагающие малую вязкость, должны давать более адекватное описание поведения газа, чем модели с вязкостью, определяемой чисто кулоновскими соударениями.